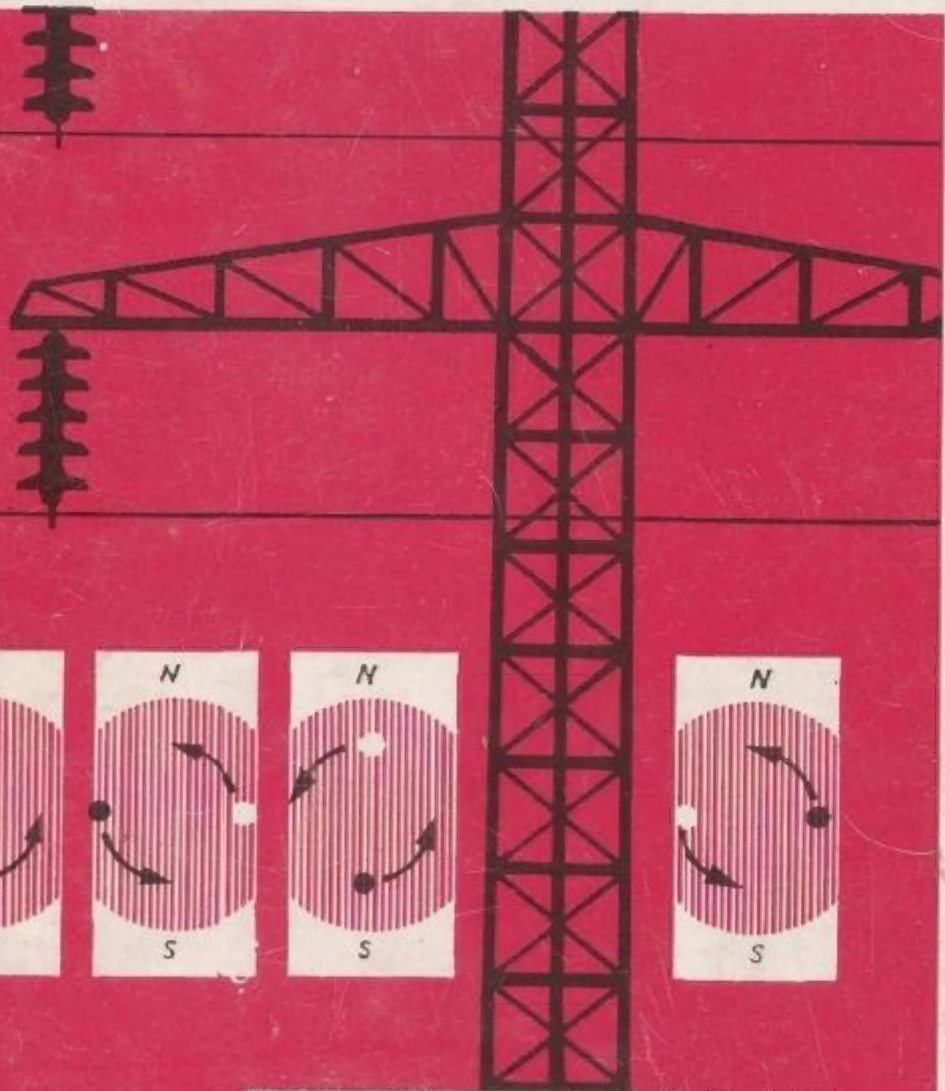
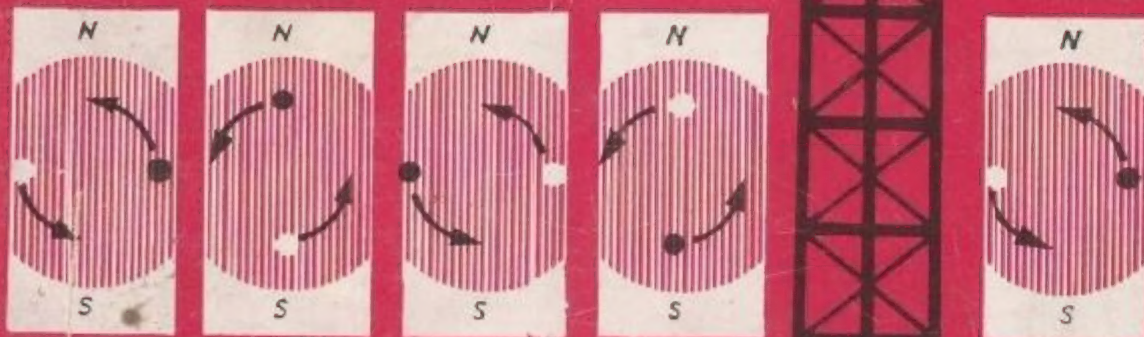


# أساسيات الهندسة الكهربائية

الجزء الأول



الأساس  
التكنولوجية





# أساسيات الهندسة الكهربائية

مؤسسة الأهرام بالقاهرة  
المؤسسة الشعبية للتأليف بـ لـ يـ بـ نـ ج

Edition Leipzig and Al-Ahram Cairo

٥١



در اقسام نباتات لیسانا

در اقسام نباتات لیسانا  
در اقسام نباتات لیسانا

Dr. J. G. and Al. J. G.



# الأسس التكنولوجية

الترجمة العربية بإشراف

دكتور مهندس أنور محمود عبد الواحد

## أساسيات الهندسة الكهربائية

الجزء الأول

تأليف: هاني تـزجـراف

ترجمة: المهندس إدوار يوسف قاضي

المهندس أمين قاسم سليم

c ) Edition Leipzig, German Democratic Republic  
Arabian Edition by Al-Ahram Cairo

Printed by AL-AHRAM, CAIRO



هذا الكتاب هو الترجمة الكاملة الكتاب

**ELECTRICAL ENGINEERING FUNDAMENTALS**

**TECHNICAL FUNDAMENTALS** من سلسلة :



## تصدير

هذه السلسلة - الأسس التكنولوجية - ثمرة تعاون وثيق هادف بين دارين من أكبر دور النشر العالمية ، إحداهما دار النشر في لايبزج Edition Leipzig ، والثانية مؤسسة الأهرام .

وقد تضافرت جهود الدارين على تحقيق النشر العربى لهذه السلسلة الرفيعة التى لقيت كتبها المنشورة بالإنجليزية والفرنسية والأسبانية إقبالا منقطع النظير . ولا عجب أن تلتقى مؤسسة الأهرام هذه السلسلة بالذات لتكون طليعة نشاطها فى مجال النشر العلمى والتكنولوجى .

فالمتمعن لآى كتاب من كتب السلسلة ، أو المستعرض لعناوين الكتب التى صدرت منها حتى الآن ، يجد أن التخطيط لهذه السلسلة يقوم على تبصر عميق باحتياجات الطبقة العريضة من الملاحظين والفنيين الذين يمثلون عصب الإنتاج الصناعى وقوته الكامنة الحقيقية - لذلك فإن دار النشر فى لايبزج قد عهدت إلى أعلام التأليف التكنولوجى فى جمهورية ألمانيا الديمقراطية بتصنيف كتب هذه السلسلة ، كما عهدت مؤسسة الأهرام إلى خيرة المهندسين ورجال العلم ممن لهم نشاط واسع فى مجال الترجمة الفنية للقيام بهذه المهمة .

وواقع الأمر أن فائدة هذه السلسلة غير مقصورة على الملاحظين والفنيين فحسب - بل هى بالغة الأهمية أيضاً للمهندسين الذين يبتغون توسيع آفاق خبراتهم بالاطلاع على التخصصات الأخرى ، ولغير الفنيين الذين يريدون أن تتكامل معلوماتهم فى مختلف المجالات التكنولوجية .

أنور محمود عبد الواحد





## مقدمة

كان التصدى للحقائق والمفاهيم والظواهر الخاصة بتكنولوجيا الكهرباء ، يعتبر من المجازفات الكبيرة في صدد تقدم الهندسة الكهربائية خلال السنوات العشر الماضية . والمؤلف على يقين كامل بأن وضع كتاب في أسس الهندسة الكهربائية ، يتناول فقط أهم المفاهيم الأساسية ، والجوانب الضرورية لهذا العلم سوف لا يجعله من النوع الجامع المانع .

وقد تم وضع هذا الكتاب بطريقة تجعل القارئ يلم بالقوانين الأساسية والقواعد المستخلصة من الظواهر الفيزيائية الكهربائية والظواهر الكهربائية التكنولوجية . وقد صيغت عبارات الكتاب بلغة سهلة مبسطة وأسلوب متمتع جذاب . هذا فضلا عن أنه يتيح للقارئ فرصة التعمق في الفروع الأساسية لتكنولوجيا الكهرباء .

أما بالنسبة للصيغ الرياضية المصاحبة لشئ الموضوعات التي تناولها هذا الكتاب ، فقد روعي أن تكون من النوع المبسط نسبيا ، وذلك حتى يصبح بمقدور القارئ القليل الإلمام بالرياضة ، تفهم العلاقات المختلفة التي تعرضنا إليها في هذا الكتاب .

وقد ارتأى الناشر تمشيا مع الهدف من إصدار سلسلة « الأسس التكنولوجية » ، أنه من النافع تماما إصدار كتاب في أسس الهندسة الكهربائية في جزئين ، يشتمل كل منهما على قسمين رئيسيين . يتناول الجزء الأول « أسس الفيزياء التكنولوجية » . و « تمهيد لقياسات الكميات الكهربائية » . ويشتمل الجزء الثاني على « الأبواب الخاصة بهندسة القوى الكهربائية والأساليب الفنية لإعداد البيانات الكهربائية » ، وهذا التقسيم يبدو معقولا تماما ، لأنه يتمشى مع الاتجاهات الحديثة في عرض الموضوعات الخاصة بالهندسة الكهربائية .

وقد أعد هذا الكتاب ليكون بمثابة مرجع تفصيلي للنواعد العلمية لتكنولوجيا الكهرباء ، فهو يحدد الجوانب الأساسية لفروع هذا العلم . ويتضح من ذلك أنه لا يمكن التعويل على هذا الكتاب لتدريب العاملين في فرع معين من الهندسة الكهربائية ، بل هو موجه أساسا لخدمة القراء الذين يرغبون في الحصول على فكرة عامة عن تكنولوجيا الكهرباء ، فضلا عن مداهم بمعلومات تتعلق بموضوعات خاصة . وسوف يعين هذا الكتاب كذلك على تفهم المسائل الأكثر تقدما في هذا العلم بسهولة ويسر .





## المحتويات

صفحة

### القسم الأول : الأساسيات الفيزيائية الفنية

#### الفصل الأول : تأثيرات التيار الكهربائي .

١٩	... ..	١/١ - التأثير الحرارى للتيار الكهربائي
٢٠	... ..	٢/١ - التأثير الضوئى للتيار الكهربائي
٢١	... ..	٣/١ - التأثير المغنطيسى للتيار الكهربائي
٢١	... ..	٤/١ - التأثير الكيمياءى للتيار الكهربائي
٢١	... ..	٥/١ - التأثيرات التنشيطية للتيار الكهربائي

#### الفصل الثانى : ما هى الكهرباء

#### الفصل الثالث : الشحنات الكهربائية

٢٦	... ..	١/٣ - الشحنات الكهربائية الثابتة
٢٦	... ..	( أ ) نبذة تاريخية عن ظواهر الشحنات الكهربائية
٢٧	... ..	( ب ) تمثيل الشحنات الكهربائية
٣٠	... ..	( ج ) أجهزة لبيان الشحنة الكهربائية وقياسها
٣٢	... ..	( د ) خواص الشحنات الكهربائية
٣٥	... ..	٢/٣ - الشحنات الكهربائية المتحركة
٣٥	... ..	( أ ) التيار الكهربائي
٣٦	... ..	( ب ) آلية توصيل التيار الكهربائي
٣٧	... ..	( ج ) دائرة التيار الكهربائي

#### الفصل الرابع : الكميات الكهربائية الأساسية

٤٢	... ..	١/٤ - شدة التيار
٤٢	... ..	( أ ) تعريف شدة التيار
٤٣	... ..	( ب ) وحدة شدة التيار
٤٤	... ..	( ج ) إيجاد قيمة شدة التيار



٤٥	٢/٤ - كية الكهرباء
٤٥	(١) تعريف كية الكهرباء
٤٦	(ب) وحدة كية الكهرباء
٤٦	٣/٤ - الجهد
٤٦	(١) تعريف الجهد
٤٧	(ب) وحدة الجهد
٤٨	(ج) إمكانيات إيجاد قيمة وحدة الجهد
٤٨	(د) التعاريف المتعددة للجهد
٤٩	٤/٤ - المقاومة :
٤٩	(١) تعريف المقاومة
٤٩	(ب) وحدة المقاومة
٤٩	(ج) إمكانية إيجاد قيمة وحدة المقاومة
٥٠	الفصل الخامس : العلاقة المتبادلة بين شدة التيار والجهد والمقاومة (قانون أوم) .
٥٠	١/٥ - الخصائص المميزة لشدة التيار / الجهد .
٥١	٢/٥ - الخصائص المميزة لشدة التيار / المقاومة
٥٣	٣/٥ - تفسير قانون أوم
٥٦	(١) تعريف وحدة المقاومة
٥٦	٤/٥ - حسابات الدائرة الكهربائية الأساسية
٦١	الفصل السادس : مواد الموصلات ، ومواد المقاومات ، والمواد العازلة
٦١	١/٦ - العلاقة بين المقاومة ( م ) والطول ( ل ) ومساحة المقطع المستعرض
٦١	(ج) للموصل .
٦١	(١) العلاقة بين مقاومة موصل وطوله
٦٢	(ب) العلاقة بين مقاومة موصل ومساحة مقطعه المستعرض
٦٤	٢/٦ - المقاومة والموصلية .
٦٤	(١) المقاومة
٦٥	(ب) الموصلية
٦٧	٣/٦ - مواد الموصلات .
٦٧	(١) مواد الموصلات وقيم مقاومتها .
٦٧	(ب) وصف موجز لمواد الموصلات

٦٨	٤/٦ - مواد المقاومة
٦٨	(أ) قيمها ووصف موجز لها
٧٠	(ب) أنواع المقاومات
٧٣	(ج) تأثير درجة الحرارة على المقاومة
٧٦	٥/٦ - المواد العازلة
٧٦	(أ) تصنيف المواد العازلة
٧٦	(ب) قيم المقاومة للمواد العازلة
٧٧	(ج) شرح موجز لبعض مواد عازلة
٧٩	(د) متانة الوسط الكهربائي العازل
٨١	الفصل السابع : دوائر بسيطة وشبكات كهربائية
٨١	١/٧ - الطرق المختلفة لتوصيل المقاومات
٨٣	٢/٧ - الدوائر البسيطة
٨٥	(أ) هبوط الجهد وفقد الجهد
٨٧	٣/٧ - الشبكات
	(أ) إيجاد قيمة المقاومة المكافئة للمقاومات الموصلة على التوازي
٩٠	في حالات خاصة
٩٢	(ب) مقارنة بين دوائر التوالي والتوازي
٩٣	الفصل الثامن : الشغل والقدرة والكفاءة الكهربائية
٩٣	١/٨ - ملاحظات عامة على الشغل والقدرة
٩٣	٢/٨ - الشغل الكهربائي
٩٥	٣/٨ - القدرة الكهربائية
٩٧	٤/٨ - الكفاءة
١٠٠	الفصل التاسع : المغنطيسية والمغنطيسية الكهربائية
١٠٠	١/٩ - الظواهر المصاحبة للمغنطيسات الطبيعية والصناعية
١٠٠	(أ) نبذة تاريخية عن المغنطيسات الطبيعية
١٠١	(ب) المغنطيسات الطبيعية
١٠٣	(ج) الاستبقاء
١٠٤	(د) النظرية الجزيئية للمغنطيسية



٢/٩ - المجالات المغنطيسية	١٠٥
(أ) تعريف مفهوم المجال المغنطيسي	١٠٥
(ب) خطوط المجال المغنطيسي ونماذج خطوط المجال	١٠٥
٣/٩ - الظاهرة المغنطيسية الكهربائية	١٠٧
(أ) المجال المغنطيسي للموصل المستقيم الحامل للتيار الكهربائي	١٠٧
(ب) المجال المغنطيسي لملف حامل للتيار الكهربائي	١٠٨
(ج) القوى المؤثرة بين الموصلات والملفات الحاملة للتيار الكهربائي	١٠٩
(د) الموصلات والملفات الحاملة للتيار الكهربائي في مجال مغنطيسي	١١٣
٤/٩ - كميات لتحديد قيمة المجالات المغنطيسية	١١٤
(أ) الموصلية المغنطيسية - النفاذية	١١٤
(ب) المواد الدايا مغنطيسية والبارا مغنطيسية	١١٤
(ج) الحث المغنطيسي	١١٥
(د) الفيض المغنطيسي	١١٧
(هـ) شدة المجال المغنطيسي	١١٨
(و) النفاذية المطلقة للحيز الطلق	١١٩
(ز) النفاذية النسبية	١١٩
(ح) تطبيق قانون أوم على دائرة مغنطيسية	١٢٠
٥/٩ - الملفات الحاملة للتيار بقلب حديدي	١٢١
(أ) المواد المغنطيسية الحديدية	١٢١
(ب) التمغنط والتشبع	١٢١
(ج) التخلفية	١٢٣
(د) المغنطيسات الكهربائية	١٢٤
الفصل العاشر : الحث المغنطيسي الكهربائي	١٢٦
١/١٠ - اختبار فاراداي	١٢٦
٢/١٠ - أشكال الحث المغنطيسي الكهربائي	١٢٧
٣/١٠ - قواعد وقوانين الحث المغنطيسي الكهربائي	١٢٨
(أ) اتجاه التيار المنتج بالحث في الموصلات والملفات	١٢٨
(ب) الحث المغنطيسي الكهربائي من الوجهة التنشيطية	١٣٠
٤/١٠ - العلاقات بين المغنطيسية والكميات المنتجة بالحث	١٣٢

١٣٥	... .. الحث الذاتي	٥/١٠
١٣٦	... .. الحث المغنطيسي الكهربائي في الموصلات المفضطة	٦/١٠
١٣٩	... .. الفصل الحادي عشر : تأثيرات المجالات الكهربائية	
١٣٩	... .. ١/١١ - المجالات المتدفقة المتجانسة وغير المتجانسة	
١٤٠	... .. ٢/١١ - المجالات الكهربائية في غير الموصلات	
١٤٠	... .. (١) تعريف المجال الكهربائي في غير الموصل	
١٤٢	... .. (ب) تشكيلات المجالات الكهربائية	
١٤٤	... .. ٣/١١ - كيات لتعيين المجالات الكهربائية المتجانسة	
١٤٤	... .. (١) الوسط الكهربائي العازل - استقطاب الوسط الكهربائي العازل	
١٤٦	... .. (ب) كثافة الإزاحة الكهربائية	
١٤٨	... .. (ج) معامل الوسط الكهربائي العازل	
	(د) العلاقة بين الشحنة ومقاس الألواح والشدة الكهربائية وثوابت	
١٤٩	... .. الوسط الكهربائي العازل	
١٥٠	... .. (هـ) المواسعات	
١٥١	... .. (و) الحسابات المتعلقة بالمواسعات	
١٥٢	... .. (ز) فقد العزل لمواسع	
١٥٤	... .. ٤/١١ - ترتيب الدائرة الكهربائية للمواسعات	
١٥٤	... .. (١) توصيل المواسعات على التوازي	
١٥٥	... .. (ب) توصيل المواسعات على التوالي	
١٥٧	... .. ٥/١١ - الأنواع المختلفة للمواسعات	
١٥٩	... .. (١) المواسعات ذات المواسعة غير المتغيرة	
١٦٠	... .. (ب) المواسعات ذات المواسعة المتغيرة	
١٦١	... .. الفصل الثاني عشر : التيار المتردد	
١٦١	... .. ١/١٢ - التيار المتردد الجيبي	
١٦١	... .. (١) تعريف فكرة التيار المتردد	
١٦٢	... .. (ب) الحلقة الموصلة الدوارة في المجال المغنطيسي	
١٦٥	... .. ٢/١٢ - كيات لتعيين التيار المتردد	
١٦٥	... .. (١) الموجة والدورة	
١٦٦	... .. (ب) التردد والدورة	



١٦٧	(ج) التردد الزاوى
١٦٨	(د) طول الموجة
١٧٠	(هـ) قيم الذروة والقيم اللحظية للجهد المتردد والتيار المتردد
١٧١	(و) تعيين لقيمة اللحظية
١٧٢	(ز) القيمة الفعالة للجهد المتردد والتيار المتردد
١٧٥	٣/١٢ - المقاومات الأومية والحثية والسعوية في دائرة التيار المتردد
١٧٥	(أ) المقاومات الأومية في دائرة التيار المتردد
١٧٥	(ب) المقاومات الحثية في دائرة التيار المتردد
١٧٦	(ج) تصرف ملفات المحاثة في دائرة تيار مستمر
١٧٧	(د) تصرف ملفات المحاثة في دائرة تيار متردد
١٨١	(هـ) المفاعلات السعوية في دائرة التيار المتردد
١٨٣	(و) التطبيق العام لقانون أوم على دائرة تيار متردد
١٨٥	٤/١٢ - الشغل الكهربائى والقدرة الكهربائية للتيار المتردد
١٨٨	٥/١٢ - التيار المتردد الثلاثى الأطوار
١٨٨	(أ) تمثيل التيار المتردد الثلاثى الأطوار
١٩٠	(ب) الترابط المتبادل بين الأطوار في توصيلات النجمة والدلتا
١٩٥	(ج) القدرة في دائرة تيار متردد ثلاثى الأطوار
١٩٦	(د) المجال الدوار

### القسم الثانى : تمهيد لقياسات الكهربية

٢٠٠	الفصل الأول : الاختبار القياسى
٢٠١	الفصل الثانى : معدات الاختبار البسيطة وتطبيقاتها
٢٠١	١/١٢ - إختبار الجهد بواسطة معين القطب ومبين الجهد
٢٠١	(أ) الاختبار بواسطة معين القطب
٢٠٢	(ب) الاختبار بواسطة مبين الجهد
٢٠٢	٢/٢ - اختبار الاستمرارية بواسطة معدات اختبار بسيطة
٢٠٤	الفصل الثالث : تصنيفات وتصميمات وتطبيقات أجهزة القياس الكهربية
٢٠٤	١/٣ - الكيات المراد قياسها - أجهزة القياس
٢٠٥	٢/٣ - تصميم ودقة قياسات أجهزة القياس
٢٠٧	(أ) دقة القياس

صفحة

٢٠٨	٣/٣ - آليات الحركة لقياس الجهد وشدة التيار .
٢٠٨	( أ ) ملاحظات عامة على شكل آلية الحركة لأجهزة لقياس
٢٠٨	( ب ) أجهزة القياس بحديدة متحركة...
٢١٠	( ج ) أجهزة القياس بملف متحرك
٢١١	( د ) أجهزة القياس بسلك ساخن
٢١٢	( هـ ) أجهزة القياس الإستاتيكية الكهربائية
٢١٤	٤/٣ - آليات الحركة لقياس المقاومة
٢١٥	( أ ) جهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة
٢١٥	( ب ) قنطرة القياس
٢١٨	٥/٣ - آليات الحركة لقياس الترددات
٢١٨	( أ ) جهاز اقياس بالريشة
٢١٩	( ب ) تطبيقات جهاز قياس التردد بالريشة
٢١٩	٦/٣ - آليات الحركة لقياسات القدرة
٢١٩	( أ ) آلية الحركة الديناميكية الكهربائية
٢٢٠	٧/٣ - الترقيم على أجهزة القياس
٢٢١	٨/٣ - إطالة مدى القياس
٢٢٢	( أ ) متطلبات القدرة وعامل الجودة لآليات الحركة
٢٢٣	( ب ) إطالة مدى القياس للفلطيمترات
٢٢٤	( ج ) إطالة مدى القياس للأميتيرات
٢٢٦	( د ) جهاز القياس متعدد الأغراض للجهود وشدة التيارات
٢٢٨	٩/٣ - وصف لبضع دوائر قياس
٢٢٨	( أ ) دوائر قياس للتأكد من قيم المقاومات بواسطة قياسات التيار والجهد
٢٣٠	( ب ) دائرة قياس لقياسات القدرة
٢٣٣	( ج ) دائرة قياس لقياس الشغل الذى يبذله التيار





**القسم الأول**  
**الأساسيات الفنية الفيزيائية**





## الفصل الأول

### تأثيرات التيار الكهربائي

يصحب التيار الكهربائي عدة تأثيرات ملحوظة ( ظواهر ) ويمكن تمييزها بما يلي :

١/١ - تأثير حراري .

٢/١ - تأثير ضوئي .

٣/١ - تأثير مغنطيسي

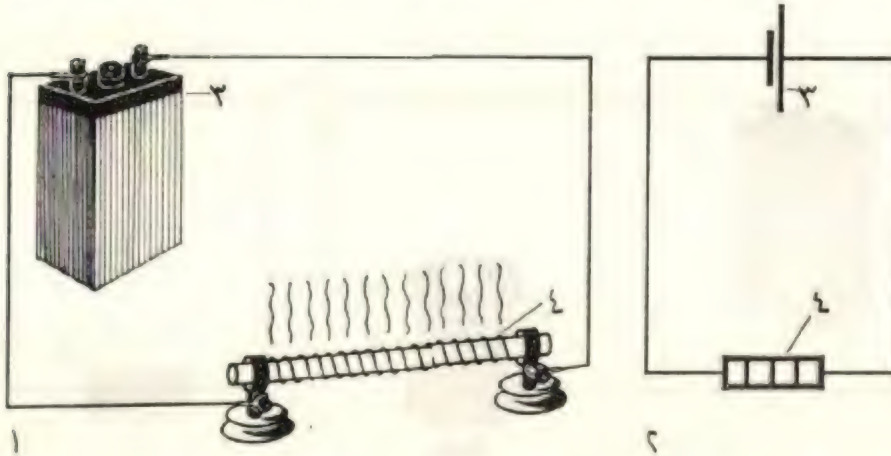
٤/١ - تأثير كيميائي .

٥/١ - تأثير فسيولوجي .

ويستخدم الفزيائيون هذا التأثير الأخير لأغراض العلاج الطبي الكهربائي المتعدد الوجوه . وعند التعامل بالتيار الكهربائي ، تلاحظ تدابير أمان واشراطات متعددة ، تراعى عند البحث عن دواء باستخدام التأثير الفسيولوجي للتيار الكهربائي .

١/١ - التأثير الحراري للتيار الكهربائي :

يوضح الشكل ( ١ ) التأثير الحراري للتيار الكهربائي على موصل يسرى فيه هذا التيار . يسخن التيار الكهربائي ذو الشدة الكافية هذا الموصل ، فيشع حرارة للأوساط المحيطة به . وتستخدم أسلاك تسخين من مادة مقاومة ، ( وسيناقش هذا بمزيد من التفصيل في الفصل السادس ) ، إذا استخدمت الحرارة الناتجة عن التيار الكهربائي في الأغراض الصناعية والأجهزة المنزلية وغيرها .

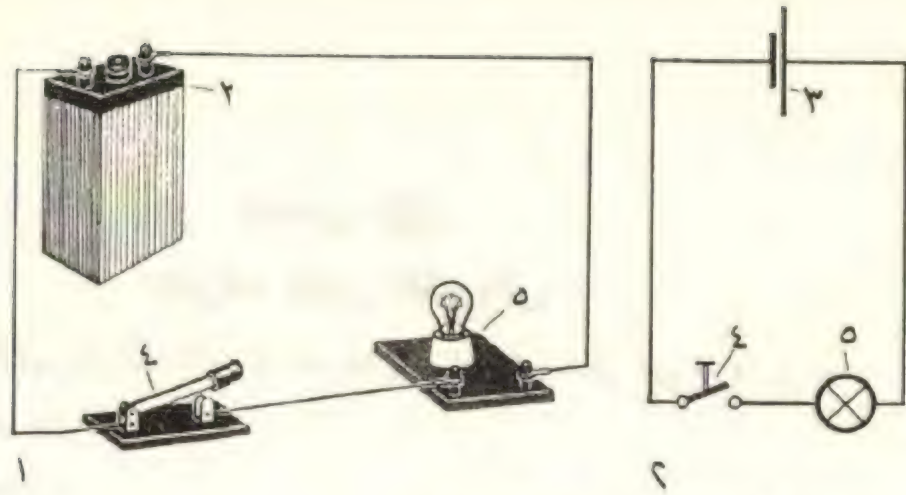


شكل ١ : التأثير الحراري للتيار الكهربائي .

١ - تمثيل تخطيطي للتأثير الحراري .      ٣ - مصدر للجهد ( تستخدم بطارية في هذه الحالة ) .

٢ - رسم الدائرة لترتيبة الاختبار .      ٤ - مسخن كهربائي .





شكل ٢ : التأثير الضوئي للتيار الكهربائي .

١ - تمثيل تخطيطي للتيار الكهربائي .

٢ - رسم الدائرة لترتيبة الاختبار .

٣ - مصدر للجهد .

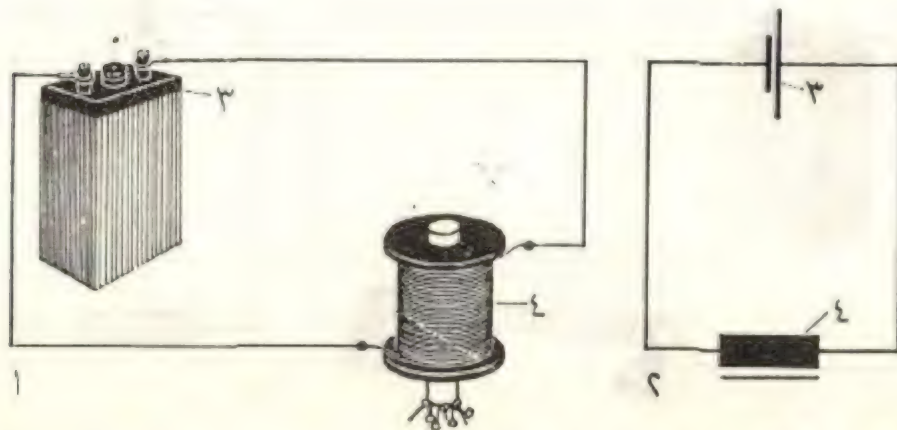
٤ - مفتاح كهربائي .

٥ - مصباح كهربائي .

٢/١ - التأثير الضوئي للتيار الكهربائي :

يبين الشكل ( ٢ ) التأثير الضوئي للتيار الكهربائي . يؤدي مرور التيار الكهربائي ذي الشدة الكافية ، خلال فتيل التسخين لمصباح كهربائي ، إلى تسخين هذا الفتيل لدرجة التوهج ، فيشع ضوء أبيض .

ويوضح المثال السابق هذا النوع من التأثير الضوئي للتيار الكهربائي ، الذي ينتج بواسطة المرحلة المتوسطة للتأثير الحراري للتيار الكهربائي .



شكل ٣ : التأثير المغنطيسي للتيار الكهربائي .

١ - تمثيل تخطيطي للتأثير المغنطيسي .

٢ - رسم الدائرة لترتيبة الاختبار .

٣ - مصدر للجهد .

٤ - مغنطيس الرفع الكهربائي .

وينتج تأثير ضوئي آخر في مصابيح التفريغ ( مصابيح تفريغ هوائية ، مصابيح أو أنابيب فلورية ) ، وسوف يرد شرح هذا الموضوع في الجزء الثاني بالفصل الرابع .

### ٣/١ - التأثير المغنطيسي للتيار الكهربائي :

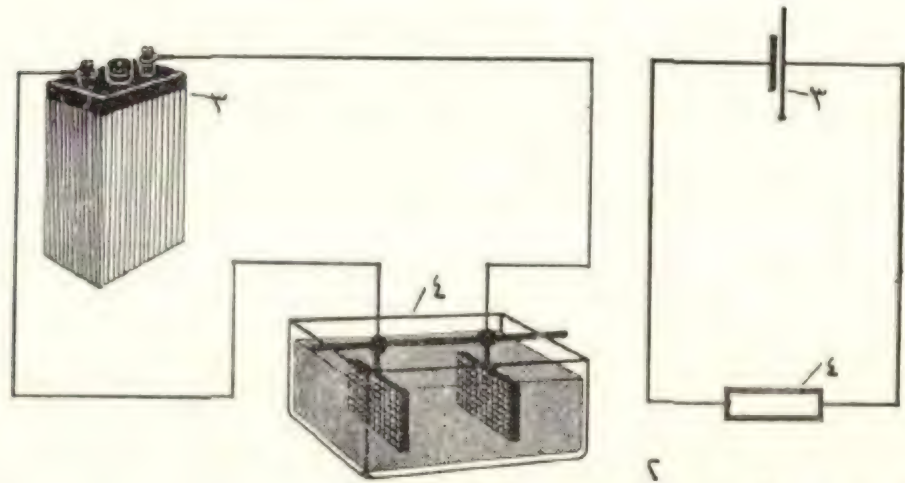
يبين الشكل ( ٣ ) التأثير المغنطيسي للتيار الكهربائي ، فينتج عن مرور التيار الكهربائي ذي الشدة الكافية ، عبر موصل ، مجال مغنطيسي حول هذا الموصل . في الشكل ( ٣ ) يكون الموصل على هيئة ملف يتكون من عدة لفات . ولزيادة شدة التأثير المغنطيسي ، يولج قلب حديدي داخل الملف . وعلى سبيل المثال لا الحصر ، يكون مغنطيس لرفع الكهربائي ، عبارة عن تصميم لمثل هذا الملف يستخدم تجاريا .

### ٤/١ - التأثير الكيميائي للتيار الكهربائي :

يبين الشكل ( ٤ ) التأثير الكيميائي للتيار الكهربائي . فيعرض مرور التيار الكهربائي ذي الشدة الكافية عبر السائل الموصل الكهربائي ( ماء مستحضر ) ، إلى تغييرات جوهريّة . وعلى سبيل المثال ، يمكن تحليل الماء إلى مكوناته ( هيدروجين وأكسجين ) ، وذلك بمرار التيار الكهربائي .

### ٥/١ - التأثيرات التنشيطية للتيار الكهربائي :

للتيار الكهربائي قدرة على التشغيل ، وتسمى هذه القدرة « الطاقة » ويطلق عليها كذلك « الطاقة الكهربائية » نسبة إلى التيار الكهربائي . ويمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة : طاقة حرارية أو طاقة ضوئية أو طاقة كيميائية ، علاوة على إمكان تحويلها إلى طاقة ميكانيكية .



شكل ٤ : التأثير الكيميائي للتيار الكهربائي .

- ١ - تمثيل تخطيطي للتأثير الكيميائي .
- ٢ - رسم الدائرة لتربية الاختبار .
- ٣ - مصدر للجهد .
- ٤ - حوض إلكتروليتي .



ويمكن بواسطة الطاقة الكهربائية مثلا ، إحداث عزم لى على عمود إدارة محرك كهربائى مستخدم فى إدارة مكينات التشغيل الصناعية ، ويتضح من ذلك تأثيرات التيار الكهربائى فى تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة . وتؤدى تحويلات الطاقة دورا هاما فى جميع المجالات الهندسية والتكنولوجية . وتظهر البحوث التى تنتج عنها فى قانون بقاء الطاقة ، أنه فى مضمار تحويل الطاقة : تبقى الطاقة الإجمالية ثابتة ، فبينما تحتوى الطاقة من أحد أشكالها ، تظهر فى شكل آخر : وبمعنى آخر « فإن الطاقة لا تستحدث ولا تفنى » .

## الفصل الثانى

### ما هى الكهرباء

حاول الإنسان كثيرا أن يستكشف هذا الكون الذى يعيش فيه . ولقد بذل مجهودات كثيرة ، وسوف يستمر فى بذل هذه المجهودات للدراسة والوصول إلى معنى الظواهر فى العالم المحيط به . وعليه ، بحث الإنسان فى طبيعة الكهرباء وأصبح يدرك تمام الإدراك مفهوم التيار الكهربائى كجواهر كهربائى ، حتى أصبح هذا المعنى معروفا وواضحا له بدرجة كبيرة . وباستخدام النماذج كطرق عملية ، أمكن معرفة كل ما يتعلق بالكهرباء ، وعلى الأخص عند تفسير الظواهر التى تنفصها المشاهدات المباشرة .

ونبدأ هنا بالحقيقة التالية : تعتمد جميع الظواهر الكهربائية على جزيئات متناهية فى الصغر تحمل أصغر كميات من الشحنات الكهربائية أو الكهرباء، ويطلق على هذه الجزيئات المتناهية فى الصغر « إلكترونات » .

ولتفسير ما هو « الإلكترون » يجب الإلمام التام بالمعرفة التى أدت إلى وضع « النظرية الذرية المتكاملة » . فثلا ، عند تحليل أى مادة فى المعمل نحصل على مواد لا يمكن الحصول بعد ذلك على غيرها ، وتسمى « العناصر » .

وبالمقارنة مع العدد الكبير من المواد والمركبات التى وجدت فى الطبيعة ، فإن عدد العناصر التى تم تعيينها ما زال صغيرا ، حيث أصبح حوالى المائة فقط .

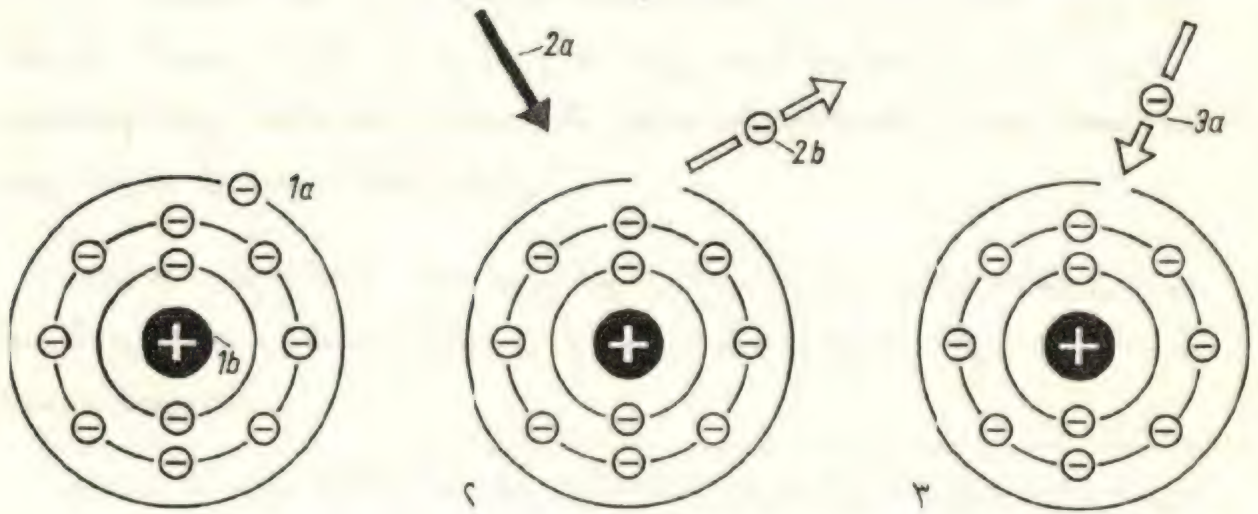
ويتكون كل عنصر من عدة جزيئات من نفس النوع ، يطلق عليها « ذرات » . ويسمى أصغر جزء من العنصر له نفس خواص العنصر ، ( مثل الرائحة والقوة والموصلية الكهربائية والموصلية الحرارية ) « الذرة » . وعلى هذا فإن أصغر جزء من قطعة من عنصر النحاس هى « ذرة النحاس » . وكان يقصد بالذرة سابقا ، الشئ غير القابل للانقسام . هذه فكرة قديمة حيث كان يعتقد من قبل أن الذرة لا يمكن تقسيمها ( لا انشطارية ) . غير أنه أمكن شطر الذرة ، وقد بنى إنتاج الطاقة النووية على شطر هذه الذرات .

ويبين الشكل ( ٥ - ١ ) نموذجا لذرة . ويساعد هذا النموذج الأساسى فى تفسير ظواهر طبيعية كثيرة : الكهربائية منها ، وغير الكهربائية .



وتتكون الذرة من « نواة ذرية » وإلكترونات أو أكثر ، يدور حول النواة في ممرات يطلق عليها « مدارات » . وهذا يعنى أن الإلكترونات تدور على مسافات معينة من هذه النواة .

وتشبه الذرة في تكوينها المجموعة الشمسية . ويمكن اعتبار النواة الذرية كأنها الشمس ، والإلكترونات التي تدور حول النواة كأنها الكواكب السيارة في المجموعة الشمسية . وبنفس الطريقة ، فكما توجد قوى بين الكواكب والشمس تجعل المجموعة الشمسية في حالة استقرار ، توجد كذلك قوى بين النواة الذرية والإلكترونات ، تجعل الذرة في حالة استقرار .



شكل ٥ : ذرة متعادلة ، انفصال الشحنات وتوازنها .

- ١ - ذرة صوديوم متعادلة .
- ٢ -  $a$  - التأثير على الذرة .
- ٣ -  $a$  - إلكترون بشحنة سالبة .
- ٤ -  $b$  - نواة ذرية بشحنة موجبة .
- ٥ -  $a$  - توازن الشحنات .
- ٦ -  $a$  - إلكترون في نطاق قوى التجاذب الكهربيائية .
- ٧ - انفصال الشحنات .

تظهر الذرة كأنها في حالة تعادل إذا لم تتعرض لمؤثر خارجي بأي وسيلة ، بمعنى أن أصغر كيات من الشحنات الكهربائية التي تحملها الإلكترونات المحيطة بالنواة ، تعادل في مجموعها الشحنة المضادة التي تحملها النواة الذرية . وتوجد بين هذه الشحنات الكهربائية ذات الخاصية المضادة ، قوى تجاذب تجعل الذرة في حالة تعادل . وللتمييز بين هذين النوعين من الشحنات الكهربائية أو كيات الكهرباء ، تعلم الشحنات التي تحملها الإلكترونات بالعلامة السالبة ( - ) ، وبمعنى آخر يطلق على الإلكترونات أنها سالبة كهربائياً . وتعلم شحنات النواة الذرية بالعلامة الموجبة ( + ) ، وبمعنى آخر يطلق على النواة الذرية أنها موجبة كهربائياً .

إذا تعرضت ذرة ( أو عدة ذرات ) لمؤثرات خارجية ( لفعل ميكانيكى أو كيميائى ،  
مثلا ) ، فإن شرط التعادل فى الذرة يتغير ، وكنتيجة لذلك ، تتحرك الإلكترونات ذات الشحنة  
السالبة . وإذا مرت هذه الإلكترونات عبر نظام مناسب ، يمكن ملاحظة تأثيرات التيار الكهربائى  
السابق وضعها .

ويطلق على الفعل الواقع على ذرة بالمفهوم المبين أعلاه « انفصال الشحنة » . ويحدث انفصال  
الشحنة هذا فى مصدر كهربائى ( مركم - دينامو - مولد ) .

ويحدث خلل فى توازن قوى التجاذب الكهربائية فى الذرة أثناء انفصال الشحنات . ويطلق  
على العملية العكسية لانفصال الشحنات « توازن الشحنات » .

وعندما يقترب أن إلكترون بشكل كاف من ذرة فى حالة تخلخل نتيجة لانفصال الشحنة ،  
تحدث قوى التجاذب الكهربائية تأثيرا يجعل هذا الإلكترون يتحرك فى مدار معين حول النواة ،  
حتى تبدو الذرة كأنها فى حالة توازن . ويبين الشكل ( هـ ) توضيحا لهذه التفسيرات  
بواسطة نموذج لذرة فلز الصوديوم .



## الفصل الثالث

### الشحنات الكهربائية

#### ١/٣ - الشحنات الكهربائية الثابتة :

يميز عادة بين الشحنات الكهربائية الثابتة والشحنات الكهربائية المتحركة . والشحنات الكهربائية الثابتة وخواصها ، هي موضوع دراسة الكهرباء الاستاتيكية . وقد أصبح اليوم هذا الفرع من الدراسة أقل أهمية من ذلك الخاص بدراسة الشحنات المتحركة . وعلى كل ، فإن مناقشة الظواهر الأساسية للكهرباء الاستاتيكية ، إلى جانب بضع ملاحظات تتعلق بتاريخ هذا الفرع من الدراسة ، سيساعد على تفهم جوهر الهندسة الكهربائية .

#### ( ١ ) نبذة تاريخية عن ظواهر الشحنات الكهربائية :

لاحظ تيلز ( Thales ) ، الفيلسوف وعالم الرياضيات اليوناني ، منذ حوالي ٢٥٠٠ عام أنه عند ذلك قطعة من الكهرمان بقطعة من الصوف ، نجد أن قطعة الكهرمان تجذب قطع الورق الصغيرة ، وذلك يعنى أن الكهرمان الذى أطلق عليه اليونان اسم الكهرباء ( elektron ) يمكن شحنه كهربائياً . ومع ذلك فقد مضى على هذه الظاهرة حوالي ٢٠٠٠ عام دون أن تلقى أى اهتمام . ومن حوالي ١٦٠٠ عام أجرى عالم الطبيعيات الإنجليزي جلبرت ( Gilbert ) أبحاثاً في الظواهر الأساسية للقوى الكهربائية التى يطلق عليها باللاتينية ( Vis electrica ) . وقد حاول جلبرت ضمن أعماله الأخرى البحث عن المواد التى يمكن شحنها كهربائياً ، حتى توصل إلى النتيجة التالية : « يعتبر الزجاج وشمع الختم والكبريت من المواد القابلة للتكهرب ، على حين تعتبر المعادن غير قابلة للتكهرب » .

وبعد ذلك بحوالى ١٢٥ عام أثبت جراى ( Gray ) ، زميل جلبرت فى الوطن ، أن ما ذكره جلبرت عن عدم قابلية المعادن للتكهرب غير صحيح . وفى ألمانيا بمدينة جوريك عاصمة مجد برج ابتكر أوتر ( Otto ) جهازاً استاتيكياً كهربائياً استخدم فيه كرة من الكبريت تدلك باليد .

وقد تم التعرف على أول نص يقارن بين الإضاءة والشرارة الكهربائية ، كتبه وال ( Wall ) فى عام ١٧٠٨ . وفى منتصف القرن الثامن عشر تقريباً شرح العالم الفرنسى دوفى ( Dufay ) التصرف المختلف للمواد المتباينة بالنسبة لشحناتها الكهربائية . واستخدم بعد ذلك المصطلحان موجب ( + ) وسالب ( - ) كهربائياً . وأجريت تجارب فيزيقية كهربائية فى مدينة ليدن ( Lyden )



بهولندا ، نتج عنها اختراع المواسع ( المكثف الكهربائي ) . وكان أول مواسع نتيجة لتطوير زجاجة دواء ، وسمى « زجاجة ليدن » .

ويقال ان بنيامين فرانكلين الأمريكي بنى أول مانعة صواعق في عام ١٧٥٢ .

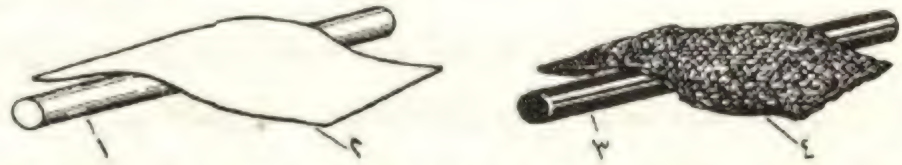
وكانت أعمال كولوم ( Coulomb ) رائدة في مجال الشحنات الكهربائية . ولقد بدأ اختباره في حوالي عام ١٧٨٥ باستخدام ميزان التواء ، يعرف أيضاً باسم « ميزان كولوم » . وبعد نجاح كولوم في قياس القوى المصاحبة للشحنات الكهربائية ، أعلن عن قانونه الخاص بانتشار الشحنات الكهربائية .

وبعد ذلك ، أجرى فاراداي ( Faraday ) العالم الشهير ، أبحاثاً لمعرفة كيفية توزيع الشحنات الكهربائية على الأجسام .

( ب ) تمثيل الشحنات الكهربائية :

التمثيل باستخدام قضيب من الزجاج وقضيب المطاط الصلب :

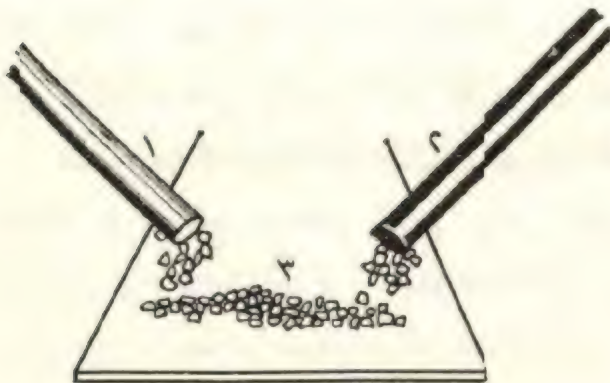
عند ذلك قضيب من الزجاج بقطعة من الجلد ، أو قضيب من المطاط الصلب بخرقة من الصوف ، كما في الشكل ( ٦ ) فإن هذين القضيبين يجذبان قصاصات الورق الصغيرة كما في الشكل ( ٧ ) .



شكل ٦ : قضيب من الزجاج وآخر من المطاط الصلب معدان لانفصال الشحنة .  
 ١ - قضيب من الزجاج .  
 ٢ - قطعة من الزجاج .  
 ٣ - قضيب من المطاط الصلب .  
 ٤ - خرقة من صوف .

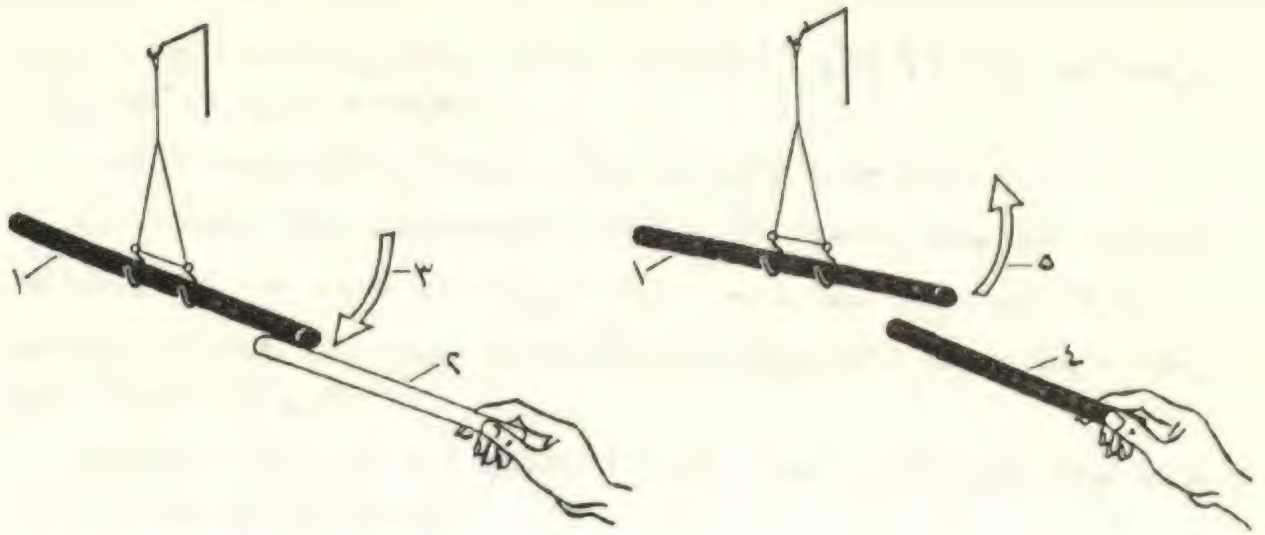
يتضح أن الفعل الميكانيكي ( ذلك ) قد سبب انعدام التعداد الكهربائي ، وكما هو واضح أيضاً فقد حدثت قوى تجاذب لقصاصات الورق .

وقد أطلق قديماً على ظاهرة الشحنات الكهربائية الناتجة بهذه الطريقة مصطلح « كهربائية الاحتكاك » ، واليوم أصبح معروفاً أن التلامس الجيد لقضيب من الزجاج مع الجلد يكفي للحصول على فعل القوة الكهربائية ، كما هو مبين في الشكل ( ٧ ) . وعلى ذلك تكون التسمية « كهربائية التلامس » . أكثر دقة من تسمية « كهربائية الاحتكاك » .



شكل ٧ : القوى الناتجة عن ذلك قضيبين أحدهما من الزجاج والآخر من المطاط الصلب .  
 ١ - قضيب زجاج .  
 ٢ - قضيب مطاط صلد .  
 ٣ - قطع صغيرة من الورق .





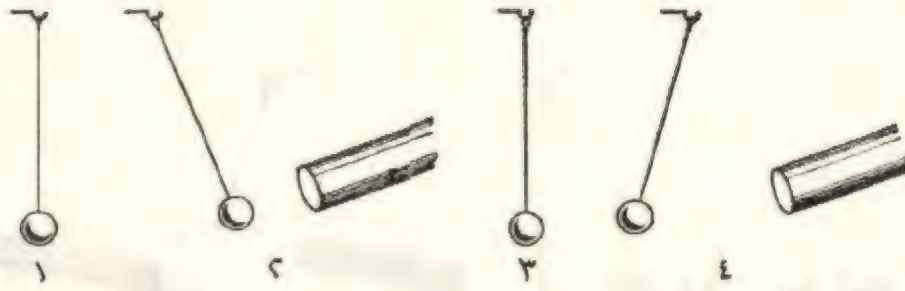
شكل ٨ : يوضح الشكل تصرف قضيبين مدلولين أحدهما من الزجاج والآخر من المطاط الصلد تجاه كل منهما للآخر .

- ١ - قضيب من المطاط الصلد معلق حر الحركة .
- ٢ - قضيب زجاج .
- ٣ - تجاذب ( قوة - فعل ) .
- ٤ - قضيب مطاط صلد .
- ٥ - تنافر ( قوة - فعل ) .

بعد أن وصفنا فعل قضبان الزجاج والمطاط الصلد المدلوك على قصاصات الورق ، تبين هنا فعل كل منهما على الآخر . ويبين الشكل ( ٨ ) ترقية لقضيب من المطاط الصلد المدلوك ، معلق بحيث يكون حر الدوران . وإذا ذلك قضيب من الزجاج وقرب من قضيب المطاط ، نجد أن الأخير يدور تجاه قضيب الزجاج ، وهذا يعني أنه انجذب له . وعند تقريب قضيب آخر من المطاط الصلد المدلوك إلى قضيب المطاط المعلق ، نجد أن القضيب المعلق يدور بعيداً عن القضيب الآخر ، وهذا يعني أنه تنافر بعيداً عنه .

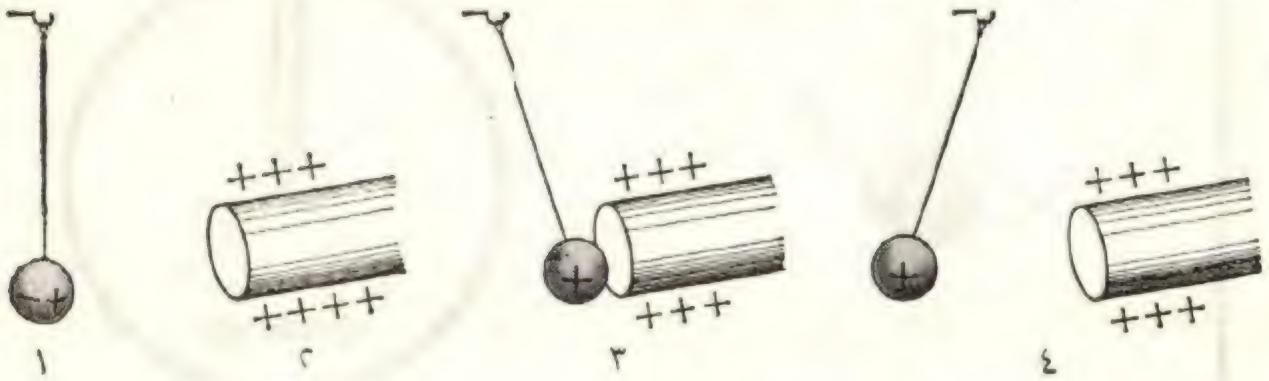
ونستخلص من مناقشاتنا السابقة لكهربائية التلامس وجود نوعين من الشحنات لهما تأثيران ديناميكيان ، أحدهما تجاذبي والآخر تنافري . وبالتالي أمكن الوصول إلى الآتي : « يحمل قضيب الزجاج المدلوك شحنات موجبة ( + ) ، بينما يحمل القضيب المدلوك من المطاط الصلد شحنات سالبة ( - ) » وبهذا التصنيف أمكن صياغة قانون أستاكي كهربائي لفعل القوة كما يلي :  
تجاذب الأجسام التي تحمل شحنات كهربائية معكوسة الإشارة ، بينما تتنافر الأجسام التي تحمل شحنات كهربائية لها نفس الإشارة .

تمثيل التأثيرات الديناميكية ( أفعال القوة ) ، الشحنات وتعادل الشحنة :  
ستفسر هنا التأثيرات الديناميكية لكهربائية التلامس بالإستعانة بالرسومات التوضيحية التالية ، والمبينة على نماذج تستخدم لتفهم جوهر الكهرباء . ويبين الشكل ( ٩ ) كرة من نخاع اللسان ( نوع من النباتات ) ، معلقة بحيث تكون حرة الحركة . ويقرب من الكرة قضيب مدلوك من الزجاج ، وكما هو متوقع من الوصف السابق ، نجد أن الكرة تتحرك في اتجاه قضيب الزجاج .



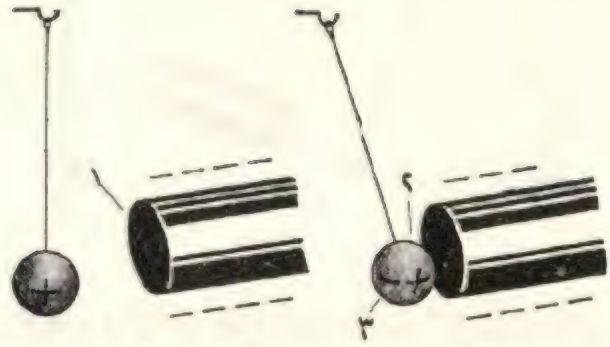
- شكل ٩ : يبين الشكل تصرف قضيب مدلولك من الزجاج وكرة من نخاع البلسان تجاه كل منهما الآخر .  
 ١ - كرة من نخاع البلسان معلقة حرة الحركة . ٣ - الرجوع إلى الوضع الأصلي .  
 ٢ - التجاذب لقضيب الزجاج . ٤ - عند تقريب قضيب الزجاج مرة ثانية ، تتنافر الكرة معه .

وعند إبعاد قضيب الزجاج عن كرة نخاع البلسان ، نجد أن الأخيرة تعود إلى وضعها الأصلي بمجرد إبعاد القضيب عنها بمسافة معينة . وبإعادة تقريب القضيب الزجاج مرة ثانية إلى الكرة ، تباعد عنه ، ويعنى هذا حدوث قوى تنافرية .  
 وتفسر هذه الظاهرة بمساعدة الشحنات المختلفة كما هو مبين بالشكل (١٠) .  
 عند تقريب قضيب مدلولك من المطاط الصلد لكرة من نخاع البلسان تحمل شحنة موجبة كهربائياً ، نلاحظ حدوث الظاهرة الموضحة في الشكل (١١) .



- شكل ١٠ : شرح الظاهرة الموضحة في الشكل (٩) .  
 ١ - كرة من نخاع البلسان متعادلة كهربائياً ( الشحنات الموجبة والشحنات السالبة متساوية ) .  
 ٢ - قضيب زجاج يحمل شحنة موجبة .  
 ٣ - عند التجاذب ، يحدث تعادل للشحنة ( تحمل كرة البلسان شحنة موجبة ، بينما تخفّض الشحنة الموجبة التي يحملها قضيب الزجاج ) .  
 ٤ - عند إعادة تقريب قضيب الزجاج مرة ثانية تتنافر كرة البلسان طبقاً لقانون فعل القوة المغناطيسية .





شكل ١١ : يبين الشكل مسلك كرة من نخاع  
اللسان تحمل شحنة موجبة وقضيب مدلولك من  
المطاط الصلد ، كل منهما تجاه الآخر .

٢ - يحدث تعادل للشحنة أثناء تجاذب كرة  
اللسان وقضيب المطاط .

٣ - تصبح كرة نخاع اللسان متعادلة كهربائياً .

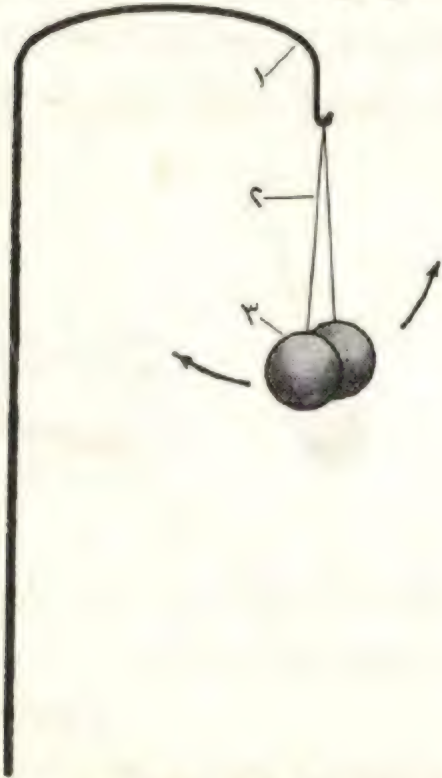
١ - يقرب قضيب من المطاط الصلد  
يحمل شحنة سالبة إلى كرة من نخاع اللسان  
تعمل شحنة كهربائية موجبة .

( ج ) أجهزة لبيان الشحنة الكهربائية وقياسها :

سنشرح هنا أهم الأجهزة المستخدمة في أغراض الكهرباء الاستاتيكية ، وذلك قبل مناقشة عدة  
خصائص للشحنة الكهربائية .

البندول الكهربائي :

يتكون من كرة من نخاع اللسان معلقة بخيط مثبت في حامل من مادة عازلة ، أي من مادة



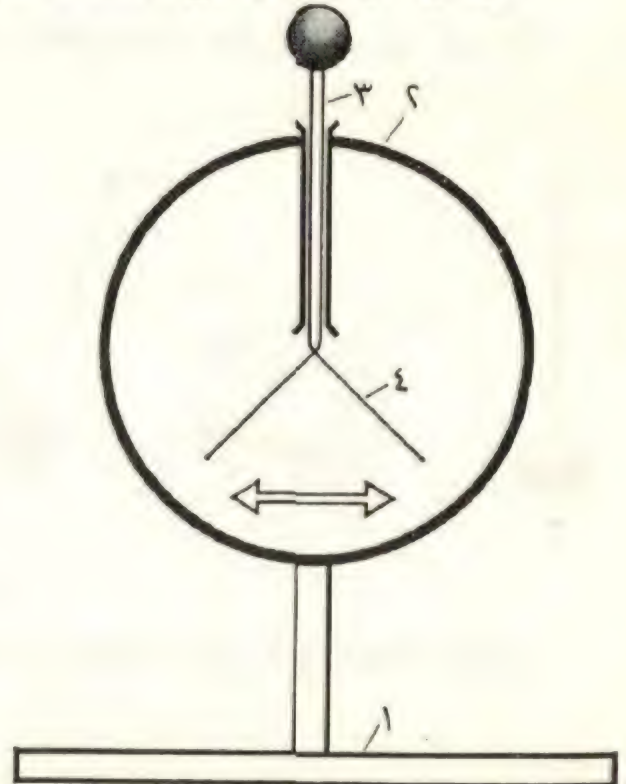
شكل ١٣ : مكشاف وولف الكهربائي :

١ - حامل .

٢ - اسطوانة معدنية .

٣ - أنبوبة عازلة وقضيب معدني .

٤ - مؤشر .

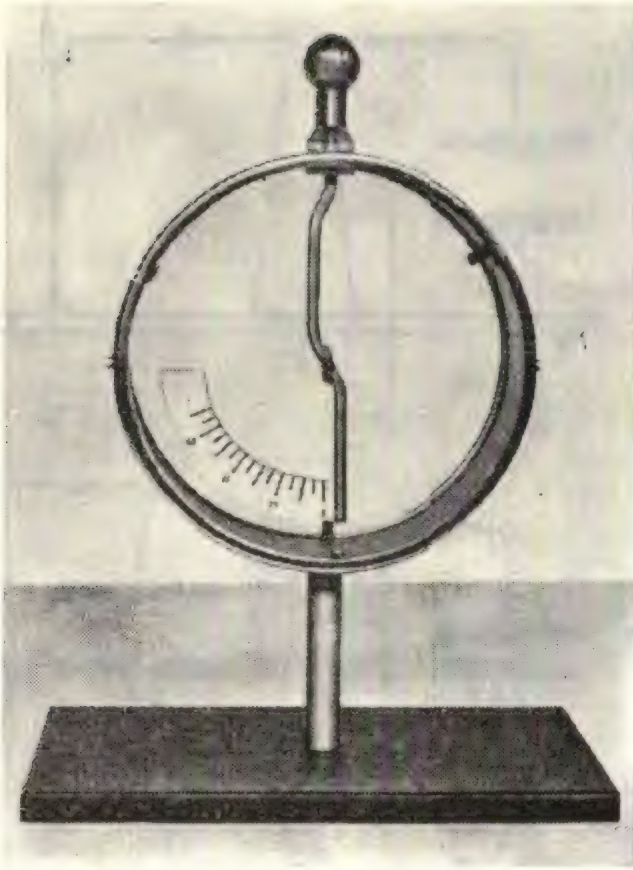


شكل ١٢ : البندول الكهربائي :

١ - حامل .

٢ - خيط .

٣ - كرة من نخاع اللسان .



شكل ١٤ :

جهاز براون لقياس فرق الجهد الكهربائي .

غير حساسة للشحنات الكهربائية . في الشكل (١٢) ، تأرجح كرة البلسان بفعل الشحنات الكهربائية .

مكشاف وولف الكهربائي : ( إليكتروسكوب وولف ) :

يتكون المكشاف من أسطوانة معدنية مركبة على حامل معزول ، ويثبت داخل الأسطوانة قضيب معدني ، بطريقة بحيث يكون معزولاً عنها . وتشكل نهاية القضيب على هيئة مؤشرين من رقائق الألومنيوم أو ورق الذهب ، كما في الشكل (١٣) ، ويبتعد المؤشران عن بعضهما البعض أثناء شحن المكشاف كهربائياً ، نتيجة للتنافر المتبادل بينهما .

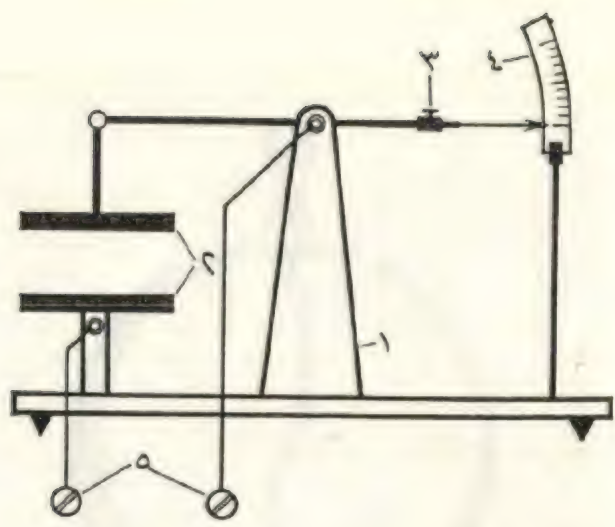
جهاز براون لقياس فرق الجهد :

هذا الجهاز تصميم محسن للمكشاف الكهربائي ، وبه مؤشر واحد بدلاً من المؤشرين ، ويرتكز هذا المؤشر على محور ارتكاز بحيث يكون حر الدوران حوله ، كما في الشكل (١٤) . وينحرف المؤشر أثناء شحن المكشاف كهربائياً . ويبين وضعه على تدريج قيمة جهد معين ( فعل القوة الكهربائية ) . ويستخدم هذا الجهاز في بيان الجهود ذات القيم العالية .

جهاز قياس فرق الجهد المطلق :

يتكون هذا الجهاز من لوحين من المعدن موضوعين بعكس بعضهما البعض ، على مسافة معينة . يثبت أحد اللوحين في هيكل الجهاز تثبيثاً محكماً بينما يترك الآخر بحيث يكون حر الحركة . ولرافعة الجهاز التي تحمل اللوح المتحرك نهاية على شكل مؤشر موضوع على تدريج . يتعرض





شكل ١٥ :

جهاز قياس فرق الجهد المطلق .

١ - هبكل .

٢ - لوحان معدنيان .

٣ - ثقل اتزان .

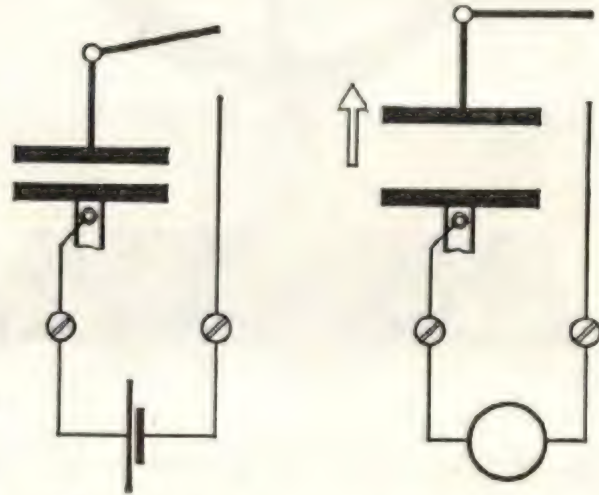
٤ - تدريج .

٥ - طرفي نهاية .

٦ - يتقارب اللوحان عند تسليط جهد .

٧ - يحدث تفريغ للشحنة ويعود اللوحان المعدنيان

لوضعهما الأصل عند توصيل جهاز قياس .



اللوحان لتجاذب متبادل عند تسليط شحنة كهربائية على طرفي الجهاز ( بتوصيل بطارية مثلاً ، بطرفي الجهاز ) . فإذا وصل بعد ذلك فلطمتر مناسب لهذا الغرض بالجهاز ، يحدث توازن للشحنات ويعود اللوحان المعدنيان إلى وضعهما الأصل ، الشكل ( ١٥ ) . وتناسب مثل هذه الأجهزة المطلقة بصفة خاصة القياسات الدقيقة ( قياسات المقارنة وأعمال المعايرة ) .

#### ( د ) خواص الشحنات الكهربائية :

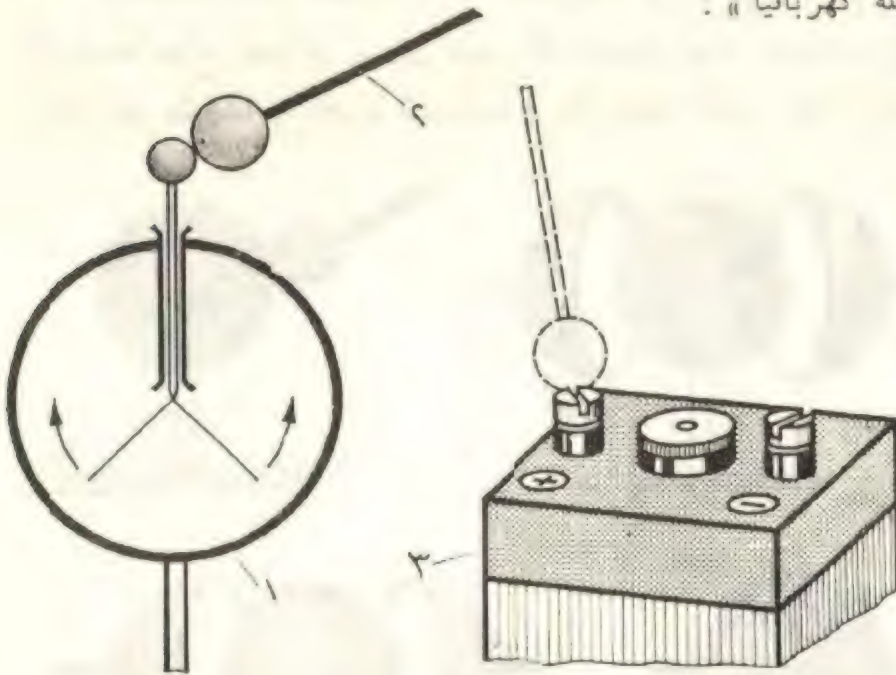
##### المنقولية والتجزئية :

يوضح الشكل ( ١٠ ) والشكل ( ١١ ) حقيقة قابلية الشحنات الكهربائية للانتقال ( المنقولية ) ، ولها خاصية أخرى وهي قابليتها للتجزئة ( التجزئية ) . ويوضح الشكل ( ١٦ ) ترتيبية تساعد على إعطاء البرهان الكافي لإثبات التجزئية للشحنات الكهربائية . فيوصل مستوى اختبار كهربائي ، مكون من مقبض معزول في نهايته كرة معدنية ، وذلك بالقطب الموجب لبطارية . ثم يوصل بعد ذلك بمكشاف كهربائي ( إليكتروسكوب ) . ونتيجة لذلك تنفرج رقيقتي المكشاف معطية انحرافاً ملحوظاً . ويزداد هذا الانحراف بتكرار هذه العملية .

ويمكن إجراء عكس هذه العملية بعد ذلك . فعندما ننقل الشحنة الكهربائية بواسطة مستوى الاختبار الكهربائي من المكشاف إلى القطب السالب للبطارية ، نلاحظ تضاًؤل انحراف رقيقتي المكشاف شيئاً فشيئاً حتى تتلاشى الشحنة منه ( الشكل ١٧ ) .

## التلاصق السطحي :

لقد أجريت عدة أبحاث لمعرفة كيفية اختراق الشحنات الكهربائية للأجسام . وهل يحدث هذا الاختراق كلياً أو جزئياً . وتم التوصل إلى النتيجة التالية : تستقر الشحنات الكهربائية دائماً على أسطح المواد الموصلة كهربائياً .



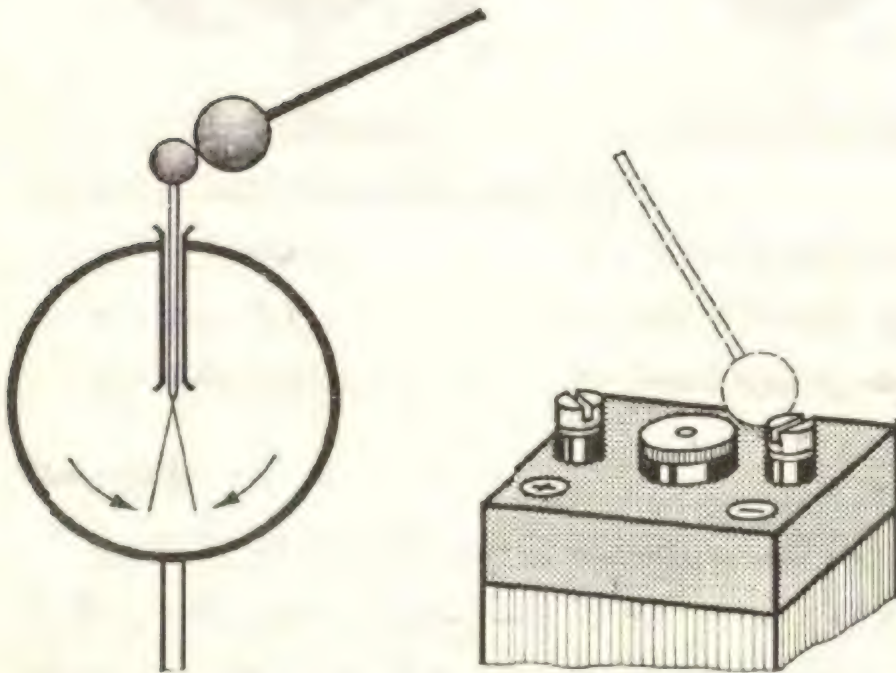
شكل ١٦ :

تجزئية الشحنات  
الكهربائية :

١ - مكشاف كهربائي

١ - مستوى اختبار  
كهربائي .

٢ - بطارية .



شكل ١٧ :

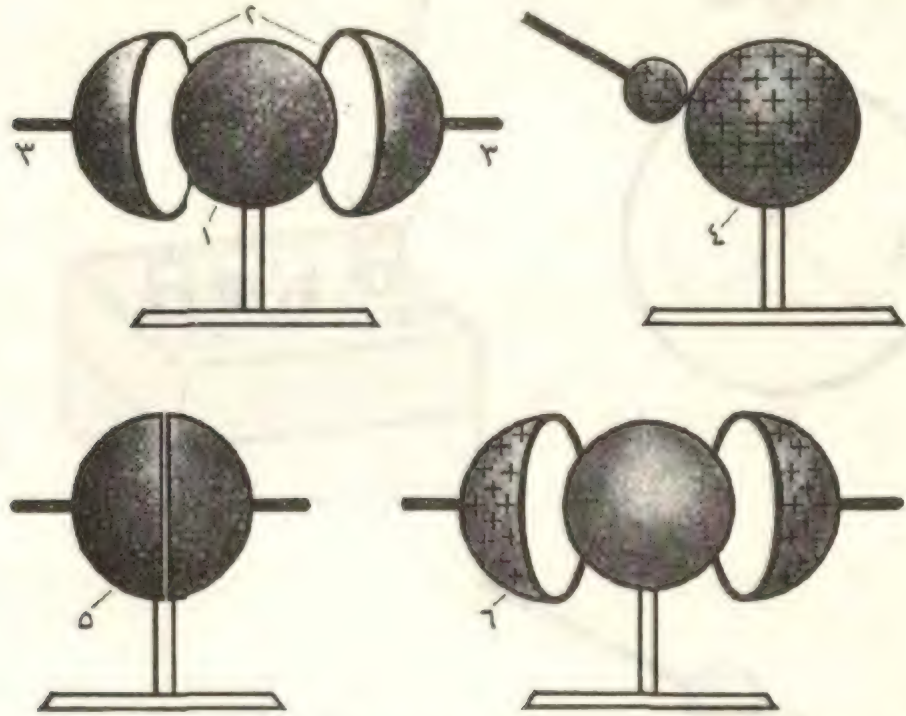
أسباب تجزئية الشحنات  
الكهربائية عند تفريغ  
المكشاف .

ويمكن إثبات هذه الظاهرة بمساعدة الترتيب الموضحة في الشكل (١٨) . وتتكون هذه الترتيب من كرة مجوفة ونصفي كرة مجوفين من المعدن ، ولكل من الأخيرين مقبض معزول . ويمكن لنصفي الكرة أن ينطبقا تمام الانطباق كل على النصف المناظر له من الكرة الكاملة . وتشحن هذه الكرة بمساعدة مستوى اختبار كهربائي من بطارية ، ثم يطبق نصف الكرة على الكرة



المشحونة تطبيقاً تاماً ، ثم يحركان بعيداً عنها . وتبعاً لذلك تظهر شحنة كهربائية على نصفي الكرة ، بينما تصبح الكرة الكاملة متعادلة كهربائياً .

و تستخدم ظاهرة استقرار الشحنة الكهربائية على أسطح لأجسام في الأغراض الهندسية ، فمثلاً ، في صناعة موانع الصواعق ، وفي حجب الأسلاك والمركبات المستخدمة في هندسة التردد العالي ، وفي دلائل الموجة المعدنية المحفوفة المستخدمة في نقل الطاقة الكهربائية العالية .



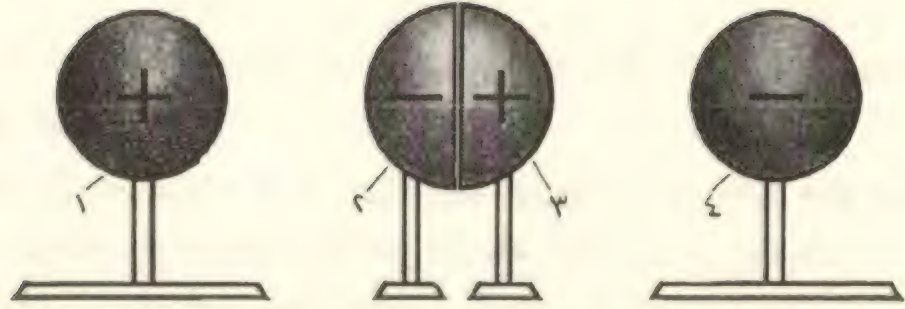
شكل ١٨ : التصافي الشحنات الكهربائية بالسطح :

- |                  |  |
|------------------|--|
| ١ - كرة معدنية . | ٤ - كرة معدنية عليها شحنة موجبة .                |
| ٢ - نصف كرة .    | ٥ - نصفاً كرة منطبقان على كرة مشحونة .           |
| ٣ - مقبض معزول . | ٦ - شحنات موجبة على سطح نصفي الكرة بعد إبعادها . |

الشحن بالتأثير :

يبين الشكل (١٩) إمكانية منح أى جسم مكهرب جسماً آخر شحنات كهربائية ، دون أى تلامس مباشر بينهما . ويوضع نصفاً كرة بحيث يتلامس وجهها تماماً ، وذلك بين كرتين معدنيتين ( من نفس النوع كما هو موضح بالشكل ١٨ ) . ويتم شحن الكرتين المعدنيتين كل منهما بشحنة كهربائية عكس الأخرى ( إحداهما موجبة والأخرى سالبة ) . يختبر نصفاً الكرة قبل وضعهما في مكانهما ، للتأكد من أنهما غير مشحونين ، ويتم ذلك بواسطة مكشاف كهربائي . وبترك نصفي الكرة بين الكرتين المشحونتين فترة وجيزة نجد أنهما أصبحا يحملان شحنة كهربائية . وهذا يعني أنهما قد شحنا بالتأثير .





شكل ١٩ : الشحن بالتأثير :

- ١ - كرة معدنية عليها شحنة موجبة .
- ٢ - نصف كرة عليه شحنة سالبة .
- ٣ - نصف كرة عليه شحنة موجبة .
- ٤ - كرة معدنية عليها شحنة سالبة .

يلاحظ أن توزيع الشحنات على نصفي الكرة يتم في نفس الوقت . ويحمل نصف الكرة المواجه للكرة الموجبة شحنة سالبة ، بينما يحمل النصف الآخر المقابل تلك السالبة شحنة موجبة . ونستنتج من هذه الظاهرة ما يلي :

أولاً : حيث أنه ليس هناك تلامس مباشر بين أجسام الاختبار ، فإن الحث ينتج خلال الوسط المحيط بها ( وهو الهواء في هذه الحالة ) .

ثانياً : أنه ليس من الضروري أن تكون الأجسام التي لا تتحمل الكهرباء كما يتضح ذلك من فصل الشحنات على نصفي الكرة . ويجب ملاحظة أن الشحن بالتأثير للأجسام يحدث أيضاً في أوساط أخرى مثل الفراغ والزيت .

تكون الشحنات الكهربائية على المعادن قابلة للانتقال والتجزئة ، وتستقر الشحنات الكهربائية دائماً على أسطح المعادن . ويحدث انفصال الشحنات بتقريب جسم مشحون من آخر غير مشحون ، ويكون الأخير متعادلاً كهربائياً من قبل ذلك .

### ٢/٣ - الشحنات الكهربائية المتحركة :

#### ( ١ ) التيار الكهربائي :

يطلق على الأجهزة والمكونات التي يتم فيها انفصال الشحنة « مصادر للجهد » ، ومن أمثلتها : المراكم والبطاريات السائلة والأعمدة الابتدائية التي تستخدم في مشعل الجيب ، وكذلك المولدات المستخدمة في محطات توليد القوى . وسوف يتم فيما بعد شرح الطريقة التي يتم بها انفصال الشحنات في مصادر الجهد . وفي هذا المجال يشار إلى الحقيقة أن الشحنات الكهربائية المنفصلة تظهر عند أطراف مصادر الجهد العاملة .

يكون الطرف الموجب لمصدر الجهد للشحنة الموجبة هو المكان الذي يوجد به « نقص في الإلكترونات » ، بينما يكون الطرف السالب لنفس المصدر للشحنة السالبة هو المكان الذي به « زيادة في الإلكترونات » .

وعندما يكون طرفاً مراً في وسط كالهواء ، مثلاً ، فإن تعادل الشحنات يستغرق زمناً طويلاً جداً ( قد يبلغ عدة سنوات ) . أما إذا كان الوسط الموصل بين هذين الطرفين معدنياً كالنحاس مثلاً ، تحدث الظاهرة التالية : تتحرك الشحنات السالبة ( الإلكترونات ) خلال هذا المعدن



في اتجاه الطرف الموجب لمصدر الجهد . وفي هذه الحالة تظهر شحنات كهربائية متحركة يطلق عليها « سريان التيار الكهربائي » .

وتسمى الأوساط التي يسرى بها ، أو يمر خلالها تيار كهربائي . حيث تكون هناك شحنات كهربائية متحركة « الموصلات الكهربائية » بينما تسمى الأوساط الأخرى « غير الموصلات » .  
ويعتبر التوصيل أو سريان التيار خلال المعادن ، نوعا من أنواع سريان التيار . وهناك أنواع أخرى لسريان التيار الكهربائي خلال السوائل الموصلة ( الكتروليت ) ، وخلال الغازات والفراغ المخلخل بالغازات ، وكذلك خلال المواد شبه الموصلة . وهذه الأخيرة تكون مجموعة من المواد ، يمكن إدراجها بين الموصلات وغير الموصلات . مع أخذ تصرفها تجاه الكهرباء في الاعتبار . وسنناقش بالتفصيل فيما بعد الأنواع المتعددة لتوصيل التيار الكهربائي .

### ( ب ) آلية توصيل التيار الكهربائي في المعادن :

#### التركيب الذري للموصلات المعدنية :

جميع المعادن صلبة ما عدا الزئبق . وتتكون المعدن النقية من ذرات تشكل ترتيبية منتظمة تسمى « التشكيل البلوري للمعادن » كما في الشكل ( ٢٠ ) .

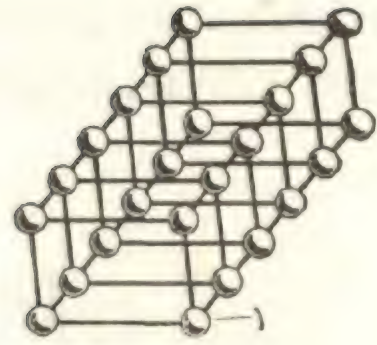
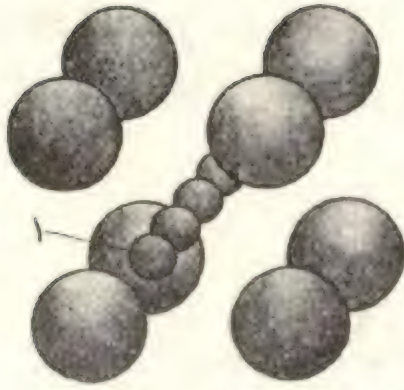
وتنفصل الإلكترونات عن ذراتها في هذا الترتيب لبلوري للذرات ، ويطلق على الأجزاء الذرية المتبقية « أيونات » . وترتبط هذه الأيونات مع بعضها البعض بتأثير قواها الكهربائية الاستاتيكية محتفظة بأوضاعها بالنسبة لبعضهما البعض . وتتحرك الإلكترونات الشاردة خلال المركب المتأين . وإذا لم يتعرض المعدن لأي مؤثر كهربائي ، لا يكون لحركة الإلكترونات الحرة أي اتجاه مفضل ، وعلى هذا يكون المعدن متعادلا كهربائيا .  
حركة الإلكترونات الحرة كتوصيل للتيار :

يبين الشكل ( ٢١ ) نموذجا من موصل كهربائي به إلكترونات حرة يطلق عليها أيضا إلكترونات توصيلية . ويعطى الشكل ( ٢٢ ) زيادة في الايضاح للنموذج السابق ، مع الأخذ في الاعتبار أن الإلكترونات الحرة يمكنها أن تتحرك في الفراغ ، ويمثل هذا الشكل نموذجا لأنبوبة والإلكترونات بداخلها كأنها كرات . ويبين الشكل ( ٢٣ ) منظرا لقطاع لتمثيل المبسط لهذا النموذج .

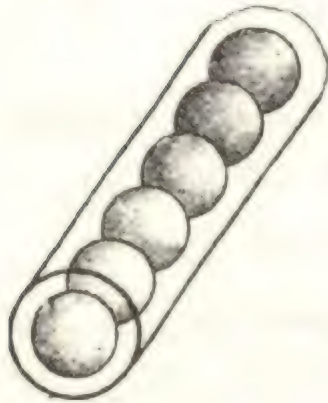
يفسر تعادل الشحنات في حالة توصيل طرفي مصدر الجهد بموصل معدني على الوجه التالي :  
يخترق أحد الإلكترونات الحرة الموصل المعدني من الجهة التي بها زيادة في الإلكترونات ، ويخبط إلكترونات أخرى مسببا دفعه مسافة بسيطة في الاتجاه الذي به نقص في الإلكترونات . ويخبط هذا بالتالي إلكترونات ثانيا مسببا دفعه في نفس الاتجاه ، حيث يخبط بدوره الإلكترونات ثالثا، ويخبط الإلكترون الثالث إلكترونات رابعا ، وهكذا تتوالى هذه العملية .

ونتيجة لذلك تتحرك الإلكترونات الحرة في الموصل المعدني في اتجاه مفصل نحو المكان الذي به نقص في الإلكترونات ، حتى يحدث التعادل بين الشحنات .





شكل ٢٠ : تمثيل تخطيطي للتركيب البلوري : شكل ٢١ : نموذج لموصل معدني به إلكترونات حرة :  
١ - جزئ أولي .



شكل ٢٢ : نموذج مبسط للإلكترونات الحرة .



شكل ٢٣ : منظر قطاع للنموذج المبين في شكل ٢١

سرعة الانتشار وسرعة الانسياب :

عندما نوقد مثلاً ، مشعل جيب ، تضيئ برهة قصيرة من الزمن حتى يشتعل المشعل . وهذا يبين أن الكهرباء تنتشر بسرعة قدرها ٣٠٠٠٠٠ كم/ثانية . ويجب ألا يكون هناك خلط بين سرعة انتشار الكهرباء وسرعة انسياب الإلكترونات . ويمكن استنتاج هذه الحقيقة من الشكل (٢٣) ويحدث انتشار الدفع بسرعة عالية ، وهذا يعني أن الفترة التي يتلقى خلالها أول وآخر الإلكترون دفعة سوف تكون قصيرة جداً ، بينما يكون الزمن اللازم لكي يحل الإلكترون محل آخر ، حتى يصل إلى المكان الذي به نقص في الإلكترونات أطول نوعاً ما . وقد وجد أن سرعة انسياب الإلكترونات تكون حوالي م/ثانية .

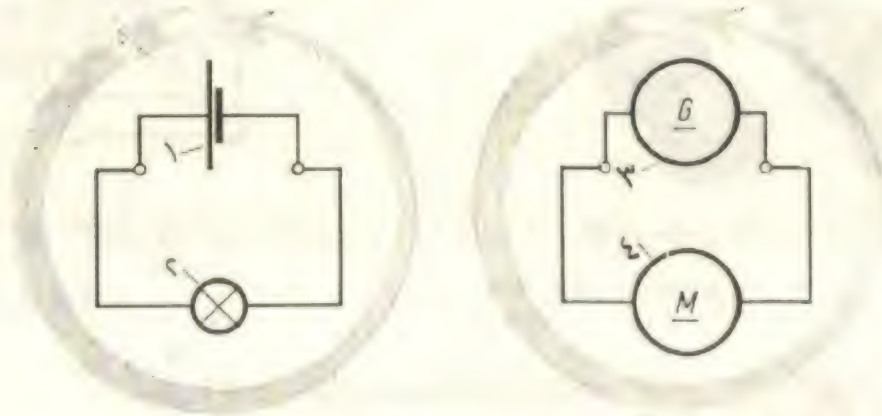
تسمى الشحنات الكهربائية المتحركة « التيار الكهربائي » . وتوصيل التيار في الموصلات المعدنية هو توصيل للإلكترونات ، أي تتحرك الإلكترونات من المكان الذي به زيادة في الإلكترونات إلى المكان الذي به نقص في الإلكترونات . ويميز بين سرعة الانتشار للكهرباء وسرعة الانسياب للإلكترونات .

( ج ) دائرة التيار الكهربائي :

يكون أي نظام كهربائي من مصدر للجهد . وسلك منه إلى جهاز يعمل بالكهرباء ، وسلك آخر منه رجوعاً إلى المصدر « دائرة تيار كهربائية » أو باختصار « دائرة كهربائية » .



وتبين الأشكال من ( ١ ) إلى ( ٤ ) مثل هذه الدوائر . وفي الحياة العملية تدخل عادة نبائط تشغيل في الدائرة الكهربائية ( كما في الشكل ( ٢ ) على سبيل المثال ) وذلك لفتح وقفل الدائرة بالطريقة المطلوبة .

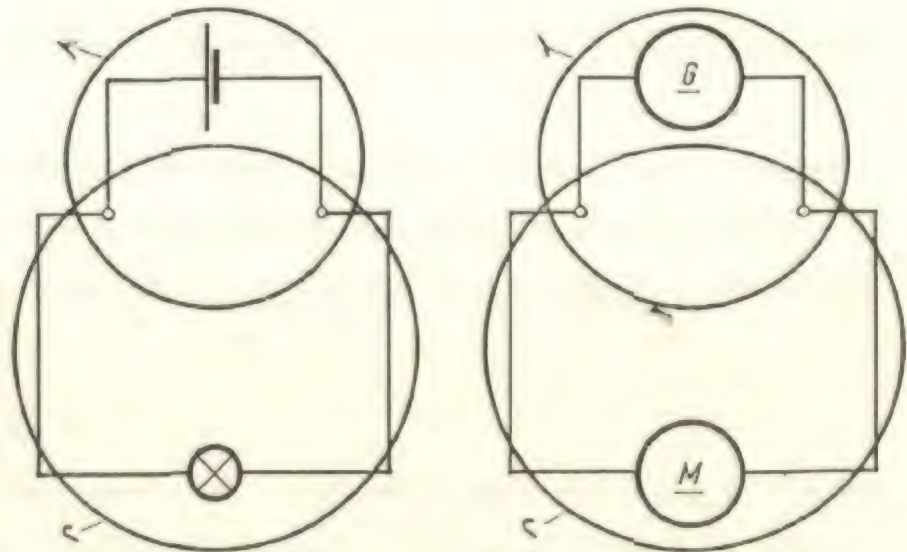


شكل ٢٤ : مقارنة بين دائرتين .

- ١ - بطارية كمصدر للجهد ( بطارية ) .
- ٢ - مصباح كهربائي .
- ٣ - مولد كهربائي كمصدر للجهد .
- ٤ - محرك كهربائي .

الدوائر الكهربائية الداخلية والخارجية :

يبين الشكل ( ٢٤ ) دائرتين كهربائيتين ، وبالرغم من اشتغالهما على عناصر أو مركبات مختلفة ( مصادر الجهد : مرآة ومولد ، مستخدمات كهربائية : مصباح متوهج ومحرك كهربائي ) ، فإنه يعبر عن كل منهما برمز واحد . وتميز الدوائر : بدوائر داخلية وأخرى خارجية . ويجري مثل هذا التمييز لعدة أسباب منها ما يلي : عندما تأخذ في الاعتبار دائرة كهربائية من اوية سريان الالكترونات ، نجد أن الالكترونات تسري خلال الدائرة الخارجية من

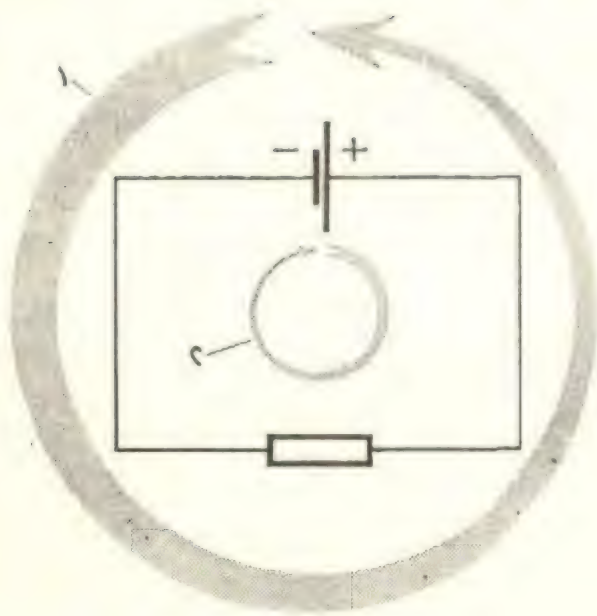


شكل ٢٥ :  
دوائر كهربائية داخلية  
وخارجية :  
١ - دائرة كهربائية  
داخلية .  
٢ - دائرة كهربائية  
خارجية .

الطرف المشحون بالسالب لمصدر الجهد خلال الموصل والجهاز إلى الطرف المشحون بالموجب للمصدر ، وتسرى الإلكترونات في الدائرة الداخلية في اتجاه عكس ذلك ( الشكل ٢٥ ) .

تعريف موجزة لمصطلحات أساسية :

تتكون الدائرة من عدة عناصر . وتكون جميع عناصر الدائرة موصلات كهربائية . ويسرى التيار الكهربائي فقط في الدائرة الكهربائية المقفلة .



شكل ٢٦ :

- اتجاه سريان الإلكترونات والتيار الكهربائي :
- ١ - اتجاه سريان الإلكترونات (نتيجة علمية) .
- ٢ - اتجاه سريان التيار الكهربائي (اتفاقي) .

تستخدم مصادر الجهد في توليد الطاقة الكهربائية ، ويمكن أن نستنتج مما سبق ( بالفصل الأول ) أن مصطلح « توليد الطاقة » ليس تعبيراً دقيقاً ، لأن ما يحدث فعلاً هو تحويل الطاقة . وتستخدم الأسلاك أو الخطوط كممرات للتيار الكهربائي : من مصدر الجهد إلى الجهاز الكهربائي ثم الرجوع إلى المصدر .

وتحول الأجهزة التي تعمل بالكهرباء الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى منها ، ويطلق على هذه الأجهزة عادة « محولات الطاقة » ( حيث لا يتمشى المصطلح « حمل » المستخدم ، في كثير من الأحيان مع وجهات النظر الحديثة ) .

وتستخدم نبائط التشغيل أو مجموعة مفاتيح التشغيل في توصيل أو قطع أو فصل التيار الكهربائي

اتجاه سريان الإلكترونات والتيار الكهربائي :

ذكرنا فيما سبق أن اتجاه سريان الإلكترونات في دائرة كهربائية خارجية يكون من المكان الذي به زيادة في الإلكترونات ، أي الطرف المشحون بالسالب أو القطب السالب



لمصدر الجهد إلى القطب الموجب لهذا المصدر . وقبل استنتاج هذه الحقيقة ، كان للمصطلحات أهمية كبرى بالنسبة للهندسة الكهربائية ، كما تقبل الفنيون الكهربائيون واستعملوا بارتياح تعاريف المصطلحات كوسيلة للتفاهم فيما بينهم . وقد اتفق اختياريا في هذا الخصوص على ما يلي :  
يكون اتجاه التيار الكهربائي من القطب الموجب إلى القطب السالب لمصدر الجهد . ويضاد ذلك السريان الفعلي للإلكترونات . ويبين الشكل (٢٦) هذين الاتجاهين .

ويمكن تفسير عدة ظواهر كهربائية على أساس تيارات الإلكترونات والايونات ، وسيبين ذلك عند ورود أي من هذه التفسيرات في هذا الكتاب .

## الفصل الرابع

### الكميات الكهربائية الأساسية

تستخلص من نتائج الأبحاث العلمية والهندسية ، قوانين مبنية على « كميات » معرفة بدقة تامة . ومن أمثلة هذه الكميات : الزمن - الطول - الكتلة - القوة .

ولتسهيل كتابة مصطلحات هذه الكميات ، يرمز لها « برموز » تستخدم بكثرة في الصيغ المختلفة . وتستخدم الحروف ، عادة ، لهذه الرموز ، وعلى سبيل المثال : يمكن أن يرمز للطول بالرمز « ل » وهكذا .

والكميات المستخدمة في الهندسة الكهربائية على سبيل المثال هي : شدة التيار ، والجهد ، والمقاومة ، والمواسعة ، والمحاثة .

ويستخدم لقياس كل كمية وحدة واحدة على الأقل . ووحدة كمية الطول ، مثلا ، هي المتر . وتستخدم الرموز ، عادة ، للتعبير عن الكميات ، بينما تستخدم الاختصارات للدلالة على الوحدات كما يلي :

الوحدة	الاختصار
ثانية	ث
متر	م
كيلوجرام	كجم

والوحدات المستخدمة في الهندسة الكهربائية ، على سبيل المثال ، هي : الامبير ، والفولط ، والأوم .

وينصح في كثير من الحالات بالتعبير عن الوحدات بمضاعفاتها وأجزائها ، فمثلا ، لا يعبر عن الأطوال بالمتر ، عادة ، بل يعبر عنها بمضاعفات المتر وأجزائه .

أمثلة :

لا تعطى المسافات في كثير من الأحيان بالمتر ، بل تعطى بالكيلومتر . فمثلا ، إذا كانت المسافة ١٠ كيلومتر ( ١٠ كم ) ، والكيلومتر هو مضاعف المتر ، أي أن ١ كيلومتر = ١٠٠٠ متر ( ١ كم = ١٠٠٠ م ) .



وعادة ، توقع الأبعاد على رسومات التشغيل الهندسية بالمليمتر ، فثلاً طول رافعة تحكم هو ٢٤٠ مليمتر ( ٢٤٠ مم ) . والمليمتر هو جزء من وحدة المتر ، والمتر يعادل ١٠٠٠ مم ، أى أن ( ١ م = ١٠٠٠ مم ) .

والميجاواط هو مضاعف وحدة الواط . حيث ١ ميجاواط = ١٠٠٠٠٠٠ واط . وفيما يلي اختصارات للمضاعفات وأجزائها الأكثر استخداماً .

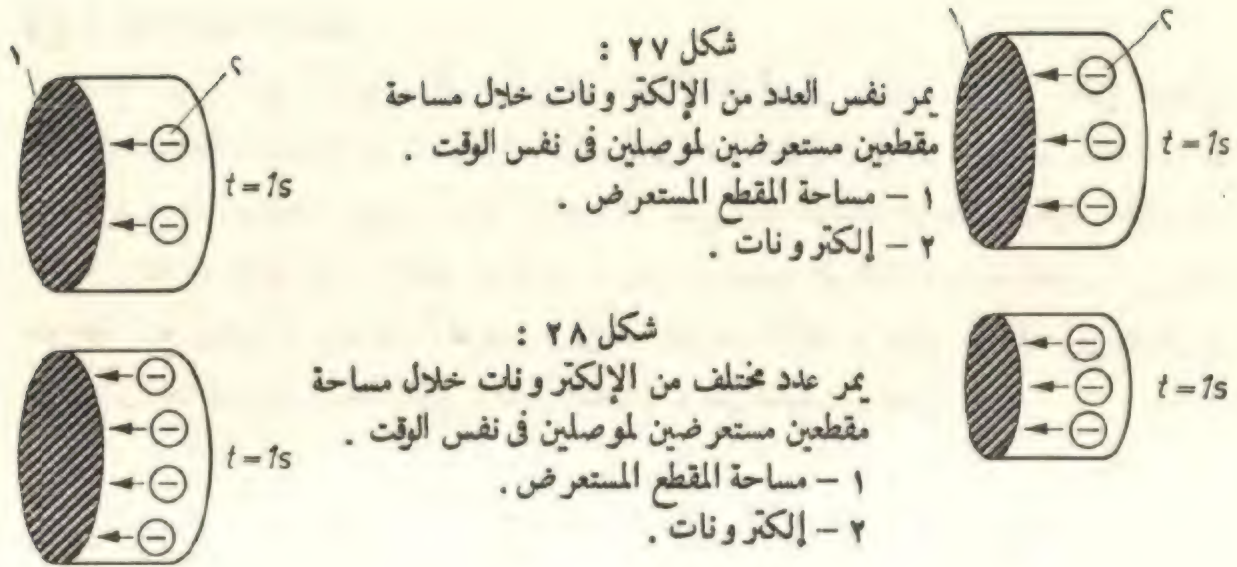
المصطلح	الاختصار	القيمة
Tera	تيـ T	١٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ وحدة
giga	جيـ G	١٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ وحدة
mega	ميـ M	١٠٠٠ ٠٠٠ »
kilo	كـ K	١٠٠٠ »
hecto	هــ h	١٠٠ »
deca	ديـ da	١٠ »
—	—	١ »
deci	دسـ d	٠,١ »
centi	سـ c	٠,٠١ »
milli	مـ m	٠,٠٠١ »
micro	مكـ µ	٠,٠٠٠ ٠٠١ »
nano	نـ n	٠,٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠١ »
pico	بكـ P	٠,٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠١ »

١/٤ - شدة التيار :

( ١ ) تعريف شدة التيار :

كثيراً ما يستخدم المصطلحان التيار وشدة التيار دون تفرقة بين مدلوليهما ، برغم وجود علاقة وثيقة بينهما . فقد يؤدي هذا بسهولة إلى سوء تفسير أى ظاهرة فى الهندسة الكهربائية وعدم فهمها ، وتعتمد شدة التيار على عدد الإلكترونات المارة خلال مقطع من موصل فى الثانية . ويوضح ذلك كل من الشكل (٢٧) والشكل (٢٨) .

والشكل (٢٧) مثال لموصلين بمقطعين مختلفى المساحة ، ويمر خلالهما نفس العدد من الإلكترونات ( ثلاثة فى الحالتين ) فى الثانية . وطبقاً لهذا الشكل يتضح أن شدة التيار تكون متساوية فى كل من الموصلين بغض النظر عن مساحة مقطعهما المستعرضين .



والشكل (٢٨) مثال لموصلين متساويين في مساحة مقطعهما المستعرضين ، وعدد الإلكترونات التي تمر خلال مساحة المقطع المستعرض العلوي يساوى نصف عدد الإلكترونات التي تمر في نفس الزمن خلال مساحة المقطع المستعرض السفلي . وتبعاً لذلك ، فإن شدة التيار في الموصل العلوي يساوى نصف شدة التيار ، فقط ، في الموصل السفلي .

(ب) وحدة شدة التيار :

وحدة شدة التيار هي الأمبير ( وتكتب باختصار مب )

الكية	الرمز	الوحدة	الاختصار
شدة التيار	ت	أمبير	مب

وقد أطلق اسم أمبير على وحدة شدة التيار نسبة إلى عالم الطبيعيات الفرنسى أمبير (Ampère).

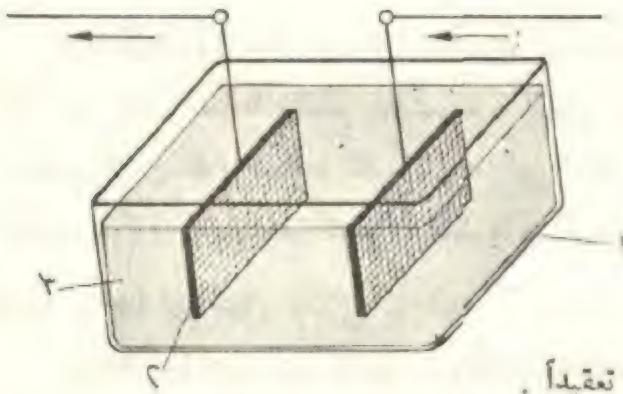
وتختلف شدة التيار اختلافاً كبيراً كما يبين ذلك الحصر التالى :

الصواعق	حتى ٢٠٠٠٠ أمبير
أفران الصهر	١٠٠٠٠٠ أمبير
إنتاج الألومنيوم	١٠٠٠٠٠ أمبير
في الحمام	١٠٠٠ أمبير
بادئ الحركة للسيارة	١٠٠ أمبير
الأجهزة المنزلية الكهربائية	حتى ٦ أمبير
الثلاجة الكهربائية	٥,٠ أمبير
المشعل الكهربائى	٢,٠ أمبير
أنابيب إلكترونية لاسلكية	٥٠,٠٠٠ أمبير
سماعة أذن للمستقبل الكاشف	١,٠٠٠,٠٠٠ أمبير



### (ج) إيجاد قيمة شدة التيار :

شدة التيار كمية أساسية ، أى يمكن استنتاج كميات أخرى منها . فثلاً ، يمكن استنتاج الكمية « المساحة » بسهولة من الكمية الأساسية « الطول » ( الطول بالمتر ، والمساحة  $h = l \times l$  بالمتر المربع ) . ويمكن بسهولة نوعاً ما إيجاد أو تعيين قيمة الوحدة الأساسية للكميات الأساسية المعينة . فثلاً ، يحفظ المتر الامامى الدولى فى باريس ، ويعتبر الوحدة الأساسية للطول . ويوجد منه عدة نسخ إمامية فى عدة بلاد أخرى . وبواسطة مثل هذه الأئمة ، يمكن على المستوى الدولى ، ملافاة أى خطأ قد ينشأ فى مجال تقييم وقياس الكميات ، التى تعتمد على الطول .



شكل ٢٩ :

حوض جلفانى أو إلكتروليتى يستخدم لترسيب الفضة .

١ - وعاء .

٢ - إلكترود .

٣ - محلول نترات الفضة القلوى .

ولإيجاد وحدة شدة التيار نجد أنها أكثر تعقيداً .

واستخدمت لهذا الغرض لفترة طويلة الكيفية التالية :

يمرر تيار كهربائى خلال حوض جلفانى ، ( الشكل ٢٩ ) ، يحوى محلول نترات الفضة القلوى كسائل موصل كهربائياً . فيتحلل هذا المحلول كيميائياً ، وترسب نترات الفضة على أحد الإلكترودين . وتكون شدة التيار أمبير واحد عندما يرسب هذا التيار كمية من الفضة زنتها ١,١١٨ مليجرام فى الثانية الواحدة .

وقد اتفق على التعريف التالى :

تكون قيمة شدة تيار كهربائى أمبير واحد ، إذا رسب هذا التيار ١,١١٨ مليجرام فضة بمروره فى محلول نترات الفضة القلوى لمدة ثانية واحدة .

ويتضح من ذلك صعوبة إيجاد شدة التيار بهذه الطريقة ، وخاصة إذا أريد تعيينها بدرجة عالية من الدقة . ويضاف إلى ذلك رغبة الأوساط العلمية والهندسية فى إدراج الوحدات والكميات تحت نظام يمكن فيه ربطها بعضها ببعض . ولهذا السبب تعرف اليوم شدة التيار بأنها قوة . وبنفس الطريقة ، كما هو الحال فى جهاز قياس فرق الجهد المطلق المستخدم فى قياس الجهود على أساس التأثيرات الديناميكية ، يستخدم ميزان الأمبير لتعيين شدة التيار الكهربائى . وفيما يلى شرح لميزان الأمبير طبقاً لراى ( Raleigh ) .

بالشكل (٣٠) أساس ميزان الأمبير هذا . فيرتكز ذراعاً رافعة على إطار ميزان . ويحمل أحد طرفي الرافعة كفة ميزان ، ويحمل الطرف الآخر ملفاً مفلطحاً قطره حوالى ٢٠٠ مم . ويوضع هذا الملف بين ملفين آخرين مفلطحين غير متحركين ، وقطر كل منهما ضعف قطر الملف المتحرك . وتوصل الملفات الثلاثة بموصلات رفيعة من الفضة . فعند مرور التيار الكهربائى فى هذه الملفات ، يحدث فيها تأثيرات ديناميكية تدفع بالملف المتحرك بعيداً عن وضع اتزانه . ويمكن إعادة التوازن إلى أصله بوضع سنج فى كفة الميزان . وتجربى حسابات معقدة لتعيين القوة التى تبذلها هذه السنج للاحتفاظ بالملف فى حالة اتزان ، وذلك عند مرور تيار شدته أمبير واحد .

#### شكل ٣٠ :

ميزان الأمبير طبقاً لى الى :

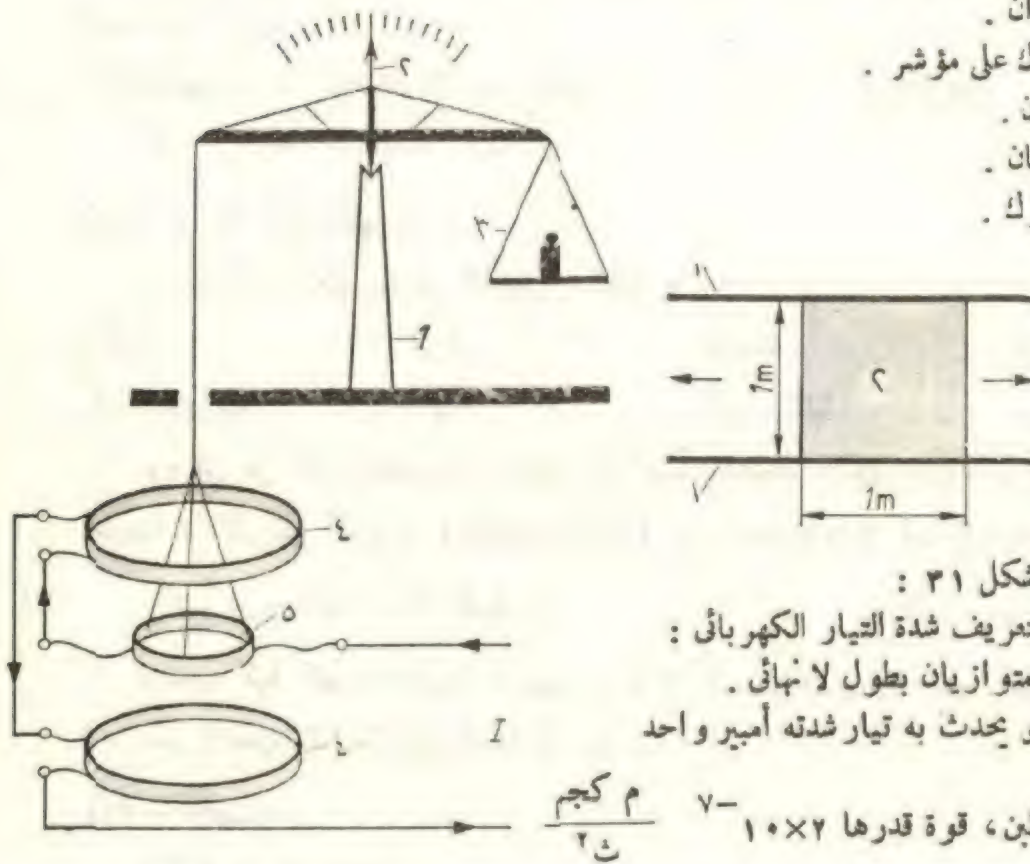
١ - إطار الميزان .

٢ - تدريج يتحرك على مؤشر .

٣ - كفة ميزان .

٤ - ملفان مثبتان .

٥ - ملف متحرك .



#### شكل ٣١ :

إيضاح خاص بتعريف شدة التيار الكهربائى :

١ - موصلان متوازيان بطول لا نهائى .

٢ - الفراغ الذى يحدث به تيار شدته أمبير واحد

مار بموصلين ، قوة قدرها  $10 \times 2$  -  $\frac{م كجم}{ث^2}$

وبناء على عمليات الوزن هذه ، وعلى عمليات رياضية معقدة إلى حد ما ، تعرف شدة التيار ،

بقوة يحدثها موصلان متوازيان لا نهائيا الطول

ت = ١ أمبير .

٢/٤ - كمية الكهرباء :

(١) تعريف « كمية الكهرباء » :

أمكن شرح وتعريف شدة التيار الكهربائى بمساعدة الشكل (٢٧) ، والشكل (٢٨) ،

بأنه عبارة عن عدد معين من الإلكترونات تمر عبر مساحة مقطع مستعرض لموصل فى ثانية واحدة .



وحيث أن وحدة شدة التيار قد عرفت ، فإنه يمكن أيضاً تعريف كمية الكهرباء ووحدها .  
إذا اعتبرت كمية الكهرباء ( ك ) بأنها عدد ما من الإلكترونات ، فيمكن إيجاد شدة التيار الكهربائي ( ت ) ، من خارج قسمة كمية الكهرباء ( ك ) على الزمن ( ز ) الذي يستغرقه مرور كمية الكهرباء هذه ، طبقاً للصيغة التالية :

$$\text{شدة التيار لكهربائي} = \frac{\text{كمية الكهرباء}}{\text{الزمن ( زمن مرور التيار )}}$$

$$\text{أي أن } \frac{ك}{ز} = ت$$

ويمكن أن نستنتج من هذه الصيغة تعريف كمية الكهرباء بأنها تساوى حاصل ضرب شدة التيار في الزمن :

$$\text{كمية الكهرباء} = \text{شدة التيار} \times \text{الزمن}$$

$$ك = ت \times ز$$

( ب ) وحدة كمية الكهرباء :

وحدة كمية الكهرباء هي الأمبير - ثانية

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
كمية الكهرباء	ك	أمبير - ثانية	مب - ث

ويطلق على كمية الكهرباء ، والمعروفة أيضاً بالشحنة الكهربائية ، كولوم ، نسبة إلى عالم الطبيعيات الفرنسي كولوم ( Coulomb ) ، واختصارها ( كب ) وينتج من هذا أن

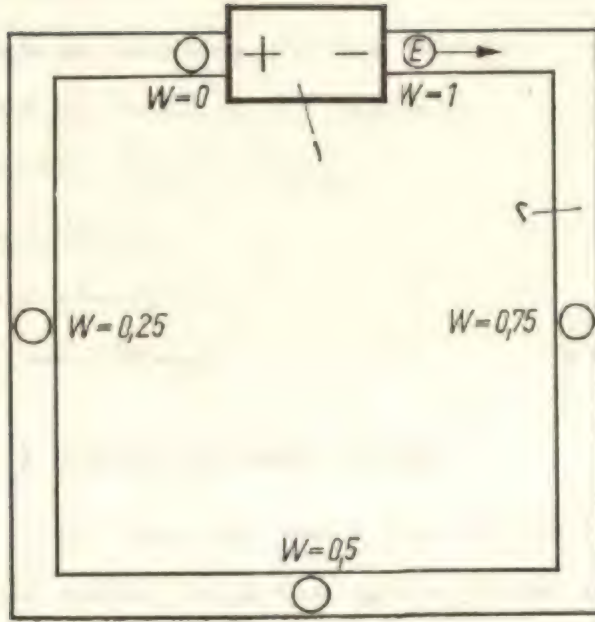
$$١ \text{ أمبير - ثانية} = ١ \text{ كولوم} \quad ( ١ \text{ مب - ث} = ١ \text{ كب} )$$

وتنتج كمية كهرباء قدرها ١ مب. ث ( ١ كب ) عند إمرار تيار كهربائي شدته ١ أمبير ( ١ مب ) لفترة مقدارها ثانية واحدة ( ١ ث ) .

٣/٤ - الجهد :

( ١ ) تعريف الجهد :

يصحب أي انفصال في الشحنة الكهربائية استهلاك في الطاقة ، أو شغل ، ( حيث أن الطاقة والشغل هما كيتان فيزيائيتان من نفس النوع ) . وتكتسب الإلكترونات جزءاً من الطاقة المستهلكة عند فصل الشحنات . فجزء من الطاقة الناتجة عن ذلك قضيب من الزجاج وتشغيل دينامو أو مولد ، وجزء من الطاقة الكيميائية في بطارية مشعل الجيب ، يعطى للإلكترونات كطاقة دفع أو شغل ( ش ) . ويمكن طاقة الدفع هذه من مرور الإلكترونات عبر دائرة كهربائية مقفلة إلى القطب الموجب لمصدر الجهد ، مسببة توازناً في الشحنات . وتسمى طاقة الدفع « الجهد » وكانت تسمى من قبل « التوتر الكهربائي » ولكن بطل استعمال هذه التسمية .



الشكل ٢٢

كيفية تصور فكرة الجهد الكهربائي

١ - مصدر جهد ( فولطية )

٢ - مسار التيار الكهربائي

ويوضح الشكل (٢٢) المقصود بالمصطلح « جهد » . ينتقل الإلكترون مزوداً بطاقة دفع ش = ١ ، في حالة قفل الدائرة ، من القطب السالب لمصدر الجهد ( ١ ) خلال مسار التيار ( ٢ ) . وبهذا يستنفد الإلكترون شغلا ، تتحول أثناءه قوة الدفع إلى شكل آخر من الطاقة عادة ، طاقة حرارية ) . وعندما يقطع الإلكترون ربع مسار التيار ينخفض جهده ( قدرته الدافعة ) بمقدار الربع ، وعندما يقطع هذا الإلكترون نصف مسار التيار ، ينخفض جهده بمقدار النصف . ويصبح جهده صفرأ عندما يصل إلى القطب الموجب لمصدر الجهد .

استهلاك التيار وهبوط الجهد :

أوردنا في بداية هذا الكتاب بصفة عامة ملاحظات تتعلق بتأثيرات التيار الكهربائي من الناحية التنشيطية . وقد أصبح يسيراً علينا ، بعد معرفة هذه الملاحظات بالإضافة إلى المعلومات التي سبق الإشارة إليها عن الجهد ، أن نزيل من الأذهان الخطأ الشائع المسمى « استهلاك التيار الكهربائي » ، حيث لا يمكن أبداً أن يستهلك التيار الكهربائي أو الإلكترونات المتحركة ، وكذلك فإن الجهد لا يستهلك ، بل يتحول شكل من الطاقة إلى شكل آخر منها . وفيما يتعلق بالجهد فقد قيل في هذا المجال : ينخفض الجهد تدريجياً في دائرة التيار المقفلة ، وذلك يحدث على طول المسار من القطب السالب إلى القطب الموجب . ويطلق على هذا « هبوط الجهد » أو « الفقد في الجهد » أو « هبوط الفلطية » في الدائرة .

( ب ) وحدة الجهد :

« الفلط » هو وحدة الجهد .

الاختصار

الوحدة

الرمز

الكية

فل

فلط

ج

الجهد

وقد أطلقت هذه التسمية على وحدة الجهد نسبة إلى عالم الطبيعيات الإيطالي فولتا ( Volta ) .

وتختلف الجهود اختلافاً كبيراً ، كما يبين ذلك الحصر التالي :



النصواعق	حتى ١٠٠٠٠٠٠٠ فلت
خطوط نقل القدرة الكهربائية للجهود العالية جداً	٣٨٠٠٠٠ فلت
خطوط نقل القدرة الكهربائية للجهود العالية	٦٠٠٠٠ فلت
شمعات الشرر للمحركات البنزين	١٥٠٠٠ فلت
خطوط الإنارة	٢٢٠ فلت
بطاريات السيارات	١٢ فلت
دخل معدات الاسلكى	٠,٠٠٠٠٠٠٠٠ فلت

### ( ج ) إمكانات إيجاد قيمة وحدة الجهد :

يمكن الحصول على جهد ج قدره فلت واحد ( ١ نل ) ، وذلك بمساعدة مصدر للجهد جلفانى ( خلية جلفانية ) تكون قيمة جهده معروفة بدقة ، يمكن اعتباره عملياً مصدراً ثابتاً للجهد . وهذا المصدر للجهد هو « خلية وستون الإمامية » . ويمكن الحصول على جهد قدره فلت واحد من خلية وستون الإمامية ولها جهد ثابت قدره ١,١٠٨٣ فلت عندما تكون درجة حرارة الوسط المحيط ٢٠ م° .

وهناك تعريف آخر للجهد على أساس القدرة الكهربائية . وسوف نناقش هذا التعريف فيما بعد بالفصل الثامن .

### ( د ) التعاريف المتعددة للجهد :

وضعت تعاريف متعددة في مجال تطوير الهندسة الكهربائية ، وذلك للتعبير عن الخصائص المميزة للجهود وتطبيقاتها .

#### جهد مسلط :

هو الجهد الفعال في الدائرة الداخلية ، أى في خلية جلفانية أو دينامو أو مولد . ويطلق أيضاً على هذا الجهد « القوة الدافعة الكهربائية الابتدائية » . والدلالة على الجهد المسلط بصفة خاصة يرمز له بالرمز ( ج ) .

#### جهد طرفي :

هو الجهد الذى يمكن قياسه عند أطراف مصدر الجهد .  
جهد التشغيل أو الجهد المقنن : هو الجهد الذى تضمن محطة القوى الكهربائية تغذية شبكة المستهلكين به كجهد تشغيل ( ١١٠ فلت ، أو ٢٢٠ فلت أو ٣٨٠ فلت ) ، ومن جهة أخرى ، فإن الجهد المقنن هو الجهد الذى تصمم أو تقنن الأجهزة الكهربائية للتشغيل عليه ( مثلاً مصباح ١٢ فلت للسيارة ) .



جهد منخفض : يبين هذا التعبير مدى للجهود يصل إلى ٤٢ فلت . ولا يشكل هذا المدى عادة خطراً على حياة الإنسان .

جهد المآخذ الرئيسي : يبين هذا التعبير مدى للجهود يشتمل على الجهود بين محطات القوى والمستهلكين تنحصر في الآتي :

نظام جهد عال جداً	( حتى حوالي ٣٨٠٠٠٠ فلت )
نظام جهد عال	( حتى حوالي ١١٥٠٠٠ فلت )
نظام جهد متوسط	( حتى حوالي ٣٠٠٠٠ فلت )
نظام جهد منخفض	( ١١٠ فلت ، ٢٢٠ فلت ، ٣٨٠ فلت )

٤/٤ - المقاومة :

( ١ ) تعريف المقاومة :

يستخدم تعبير « مقاومة » في الهندسة الكهربائية للدلالة على كمية كهربائية . ولا يستخدم للدلالة على عنصر كهربائي يعوق سريان التيار الكهربائي . وإنما يطلق على هذا العنصر « مقاوم » وسوف نتعرض لشرحه فيما بعد بالفصل السادس .

وتم إيضاح الكمية الكهربائية التي يطلق عليها مقاومة بطريق غير مباشر في شرح الجهد الكهربائي : عندما يمر التيار الكهربائي خلال مسار معين ، تفقد الإلكترونات الطاقة الدافعة ( الجهد ) ، التي يتحول معظمها إلى حرارة . ويمكن صياغة ذلك كما يلي : يحدث مسار التيار ( سواء كان هذا المسار معدنياً أو سائلاً موصلًا كهربائياً ) مقاومة في طريق الإلكترونات ، ويلزم للإلكترونات التغلب على هذه المقاومة للوصول إلى تعادل في الشحنة . وسوف نبين بالفصل الخامس ، ضرورة الاعتماد على الكمية « مقاومة » في شرح قوانين الدائرة الكهربائية .

( ب ) وحدة المقاومة :

وحدة المقاومة هي « الأوم »

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
مقاومة	م	أوم	$\Omega$

واشتقت هذه التسمية لوحدة المقاومة من اسم عالم الطبيعة الألماني أوم ( Ohm ) .

( ج ) إمكانية إيجاد قيمة وحدة المقاومة :

للحصول على وحدة المقاومة تستخدم طريقة ماثلة لتلك المستخدمة للحصول على جهد قدره فلت واحد من مصدر جهد جلفاني ، باستخدام مسار معين للتيار .

تنتج مقاومة قدرها أوم واحد (  $\Omega$  ) ، إذا سري تيار كهربائي خلال عمود من الزئبق حرارته مساوية لدرجة ذوبان الجليد ، ومساحة مقطعه المستعرض ١ م<sup>٢</sup> وطوله ١٠٦٣ متر . وهناك تعريف آخر للمقاومة يستنتج من العلاقة المتبادلة بين الجهد وشدة التيار ، وسوف نشرح ذلك بالفصل الخامس .



## الفصل الخامس

### العلاقة المتبادلة بين شدة التيار والجهد والمقاومة ( قانون أوم )

سنعرض في أثناء الشرح التالى ، إلى بعض أجهزة القياس التى ستأتى تفاصيل تصميمها وطرق تشغيلها فيما بعد بالجزء الثانى من هذا الكتاب ( الفصل الثالث ) . ويستخدم الأميتر لقياس شدة التيار ، ويستخدم الفلطمتر لقياس الجهد ، بدرجة دقة تكفى للغرض المطلوب .

ويمكن إيضاح العلاقة بين الكميات الكهربائية ، مثل شدة التيار والجهد والمقاومة ، باستخدام أجهزة القياس الكهربائية وبضع ترتيبات اختبار . ووجود مثل هذه العلاقات يفرض نفسه من خلال ظاهرة أو أخرى ، ومن المؤكد استخدام كل فرد لها :

١ - لا يضىء مشعل جيب كهربائى مقننه ٤ فلط إذا وصل بعمود جاف جهده ١,٢ فلط .  
٢ - يعطى كشاف دراجة حوالى نصف ضوئه ، إذا دار دينامو هذه الدراجة بسرعة تقدر بنصف سرعته المقننة فقط .

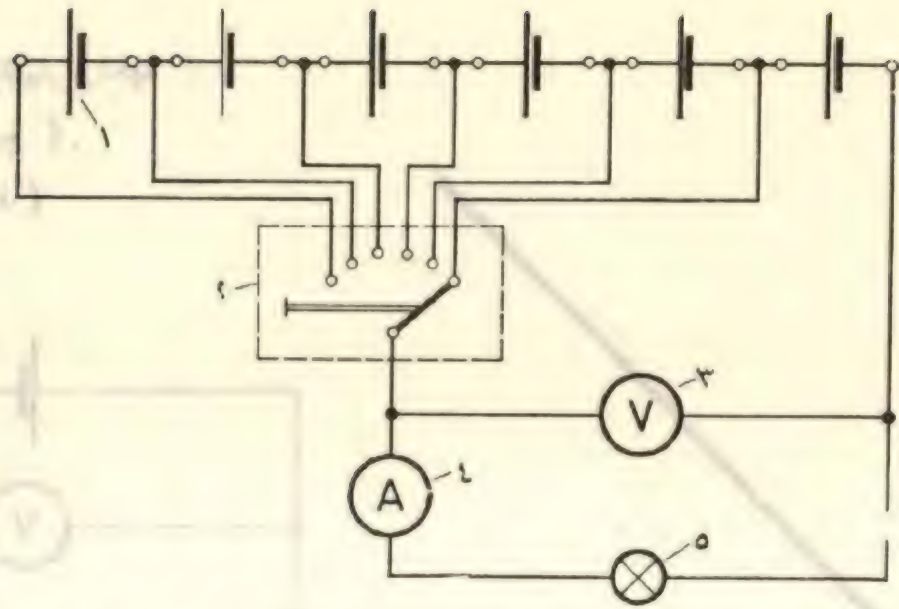
٣ - يحترق فى الحال مصباح كهربائى مقننه ١١٠ فلط ، إذا وصل بمصدر جهده ٢٢٠ فلط .

١/٥ = الخواص المميزة لشدة التيار / الجهد :

والشكل (٣٣) مثال لرسم الدائرة للترتيبة التى تستخدم فى تحديد العلاقة المتبادلة بين شدة التيار والجهد .

تتكون هذه الترتيبة من بطارية بست خلايا ، جهد كل منها ٢ فلط ، وبذلك يكون الجهد الكلى للبطارية ١٢ فلط . ويمكن الحصول على مراحل على الجهود الآتية : ٢ فلط ، ٤ فلط ، ٦ فلط ، ٨ فلط ، ١٠ فلط ، ١٢ فلط ، وذلك باستخدام مفتاح خلايا كهربائى ( مفتاح منظم ) . ويوصل فى هذه الترتيبة فلطمتر ليعين الجهد . وتشتمل هذه الترتيبة أيضاً على أميتر ومصباح متوهج مقننه ١٢ فلط . وتؤخذ ست قراءات وتسجل للجهد وشدة التيار المقابلة كما يلى :

رقم القراءة	الجهد ( ج ) بالفلط	شدة التيار ( ت ) بالأمبير
١	٢	٠,٢٥
٢	٤	٠,٥١
٣	٦	٠,٧٥
٤	٨	١,٠٠
٥	١٠	١,٢٥
٦	١٢	١,٥٠



شكل ٣٣ : ترتيبية رسم دائرة لتحديد الخصائص المميزة - شدة التيار / الجهد :

- ١ - بطارية بست خلايا ، جهد كل منهما ٢ فلت .
- ٢ - مفتاح خلايا كهربائي ( مفتاح منظم كهربائي ) .
- ٣ - فلطمتر .
- ٤ - أمبير .
- ٥ - مصباح ١٢ فلت .

الخاصية الأولى التي يمكن استنتاجها من القياسات السابقة هي : تزداد شدة التيار بازدياد الجهد .

ويمكن استنتاج خاصية أخرى من قسمة الجهد على شدة التيار ت وهي :

مسلسل	١	٢	٣	٤	٥	٦
خارج القسمة $\frac{E}{I}$	٨	٧,٨	٨	٨	٨	٨

وعلى ذلك تكون قيم خارج القسمة  $\frac{E}{I}$  متساوية في جميع الحالات . (  $\frac{E}{I}$  ثابت ) .

ومنه نحصل على النتيجة التالية :

تزيد أو تنقص كل من شدة التيار والجهد بنفس النسبة ، أي أنهما يتناسبان تناسباً طردياً ج  $\alpha$  ت . وتوضح هذه العلاقة برسم منحنى بياني بين شدة التيار والجهد ( الشكل ٣٤ ) . فتكون العلاقة بينهما عبارة عن خط مستقيم ويمر بنقطة الأصل ( دالة خطية ) .

٢/٥ - الخصائص المميزة لشدة التيار / المقاومة :

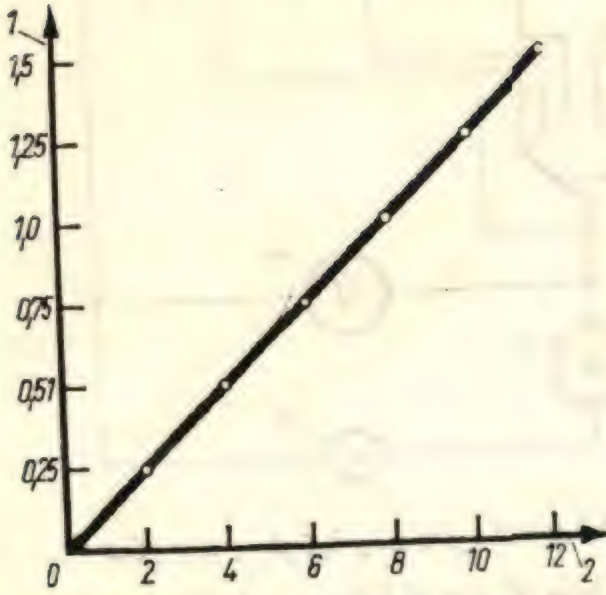
وبين الشكل (٣٥) مثلاً لرسم الدائرة لترتيبة تستخدم لتحديد العلاقة بين شدة التيار والمقاومة.



شكل ٣٤ : منحنى التيار والجهد :

١ - التيار ( بالأمبير ) .

٢ - الجهد ( بالفولط )



شكل ٣٥ :

ترتيبة لتحديد الخصائص المميزة لشدة التيار والمقاومة .

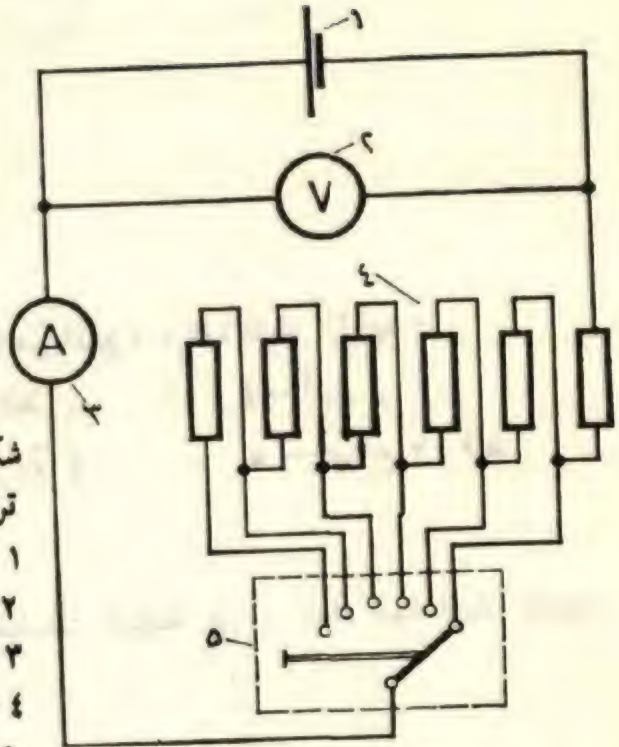
١ - مصدر للجهد ٢٤ فولط .

٢ - فلوپمتر .

٣ - أميتر .

٤ - ترتيبة بست مقاومات قيمة كل منها ٨ أوم .

٥ - مفتاح انتقاء كهربائى .



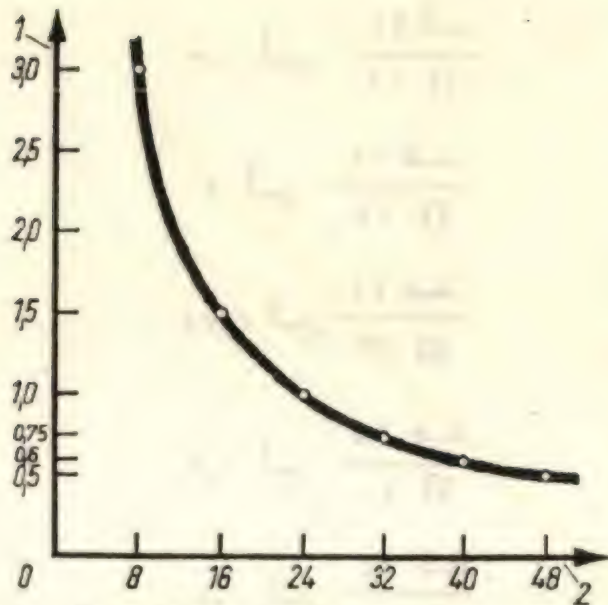
وتتكون هذه الترتيبة من مصدر للجهد يعطى ٢٤ فولط ، وفلوپمتر ( ويستخدم فقط للتأكد من ثبات جهد المصدر على ٢٤ فولط ، طول فترة التجربة ) ، وأميتر ، و ترتيبة من ست مقاومات ، مقاومة كل منها ٨ أوم . وتوصل هذه المقاومات بمفتاح إنتقاء كهربائى ، للحصول مقاومات فى الدائرة : ٨  $\Omega$  ، ١٦  $\Omega$  ، ٢٤  $\Omega$  ، ٣٢  $\Omega$  ، ٤٠  $\Omega$  أو ٤٨  $\Omega$  حسب وضع المفتاح . وتؤخذ ست قراءات ، وتسجل شدة التيار لكل قيمة من المقاومات السابقة كما يلى :

رقم القراءة	المقاومة (م) بالأوم	شدة التيار (ت) بالأمبير
١	٨	٣
٢	١٦	١,٥
٣	٢٤	١,٠
٤	٣٢	٠,٧٥
٥	٤٠	٠,٦
٦	٤٨	٠,٥

الخاصية الأولى التى يمكن استنتاجها من القياسات السابقة هى :

تنخفض شدة التيار بازدياد المقاومة .

ويمكن استنتاج خاصية أخرى من المنحنى البيانى لشدة التيار والمقاومة ( الشكل ٣٦ ) كما يلى :



شكل ٣٦ : منحى شدة التيار والمقاومة :

١ - التيار بالأمبير .

٢ - المقاومة بالأوم .

تتناسب شدة التيار والمقاومة تناسباً عكسياً ، إذا كان الجهد ثابتاً ( ج = ثابت )

$$I \propto \frac{1}{R}$$

٣/٥ - تفسير قانون أوم :

تستنتج الصيغة التالية من الخاصيتين السابقتين وهما :

$$I \propto V$$

( تتناسب شدة التيار والجهد تناسباً طردياً )

$$I \propto \frac{1}{R}$$

( تتناسب شدة التيار ومقلوب المقاومة تناسباً طردياً )

$$I \propto V$$

$$I \propto \frac{1}{R}$$

$$I \propto \frac{V}{R}$$

ينتج أن

وبما سبق نحصل على الآتى :

شدة التيار والمقاومة

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{أمبير} \quad \frac{24 \text{ فلت}}{8 \Omega}$$

شدة التيار والجهد

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{أمبير} \quad \frac{2 \text{ فلت}}{8 \text{ فلت/أمبير}}$$



$$\frac{24 \text{ فلط}}{\Omega 16} \text{ أمبير } 1,5$$

$$\frac{24 \text{ فلط}}{\Omega 24} \text{ أمبير } 1$$

$$\frac{24 \text{ فلط}}{\Omega 32} \text{ أمبير } 0,75$$

$$\frac{24 \text{ فلط}}{\Omega 40} \text{ أمبير } 0,6$$

$$\frac{24 \text{ فلط}}{\Omega 48} \text{ أمبير } 0,5$$

$$\frac{4 \text{ فلط}}{7,8 \text{ فلط/أمبير}} \alpha \text{ أمبير } 0,5$$

$$\frac{6 \text{ فلط}}{8 \text{ فلط/أمبير}} \alpha \text{ أمبير } 0,75$$

$$\frac{8 \text{ فلط}}{8 \text{ فلط/أمبير}} \alpha \text{ أمبير } 1,00$$

$$\frac{10 \text{ فلط}}{8 \text{ فلط/أمبير}} \alpha \text{ أمبير } 1,25$$

$$\frac{12 \text{ فلط}}{8 \text{ فلط/أمبير}} \alpha \text{ أمبير } 1,50$$

وعلى أساس هذه المقارنات للقيم العددية يمكن استنتاج الآتي :

$$1 - \text{يعني التعبير } \frac{\text{فلط}}{\text{أمبير}} \Omega \text{ تماماً}$$

2 - تعطى قيمة شدة التيار في جميع الحالات باستخدام خوارج القسمة كما يلي :

$$\text{من } \frac{2}{8} = 0,25 \quad \text{وفلط} \times \frac{\text{أمبير}}{\text{فلط}} = \text{أمبير}$$

$$\text{نتج } 0,25 \text{ أمبير}$$

$$\text{ومن } \frac{24}{8} = 3 \quad \text{فلط} \times \frac{\text{أمبير}}{\text{فلط}} = \text{أمبير}$$

$$\text{ينتج } 3 \text{ أمبير}$$

وحيث أن خارج قسمة  $\frac{ج}{م}$  في جميع الحالات يسوى قيمة ت ( شدة التيار ) ،

نحصل على الآتي :

$$ت = \frac{ج}{م}$$

$$\text{شدة التيار} = \frac{\text{الجهود}}{\text{المقاومة}}$$

وقد قام جورج سيمون أوم ( ١٧٨٩ - ١٨٥٤ ) بتحقيق هذه الصيغة الأساسية ، وتعرف باسم « قانون أوم » .

وفي حالة معرفة أى كيتين يمكن تحديد الكية الثالثة بواسطة هذا القانون .

وعندما نرغب فى وضع الكية المطلوب تحديدها على يمين الصيغة ، تجرى هذه العمليات الرياضية :

$$(١) \quad ت = \frac{ج}{م} \quad , \quad ج \text{ هى المطلوب نقلها إلى يمين الصيغة بتبديل طرفى الصيغة}$$

$$\frac{ج}{م} = ت \quad \text{كل مكان الآخر .}$$

$$\frac{ج}{م} \times م = ت \times م \quad \text{بضرب كل من الطرفين فى م}$$

$$ج = ت \times م \quad \text{بحذف م من الطرف الأيمن}$$

وعليه :

$$ج = ت \times م \quad \text{الجهد = شدة التيار } \times \text{ المقاومة .}$$

$$(٢) \quad ج = ت \times م \quad \text{ومطلوب نقل م إلى الطرف الأيمن من الصيغة .}$$

$$\text{ينتج أن } ت = \frac{ج}{م} \quad \text{بتبديل الطرفين كل مكان الآخر .}$$

$$\frac{ت \times م}{ت} = \frac{ج}{ت} \quad \text{بقسمة كل من الطرفين على ت}$$

$$م = \frac{ج}{ت} \quad \text{بحذف ت من الطرف الأيمن .}$$

$$م = \frac{ج}{ت} \quad \text{المقاومة = } \frac{\text{الجهد}}{\text{شدة التيار}}$$

ويمكن أيضا وضع م فى الطرف الأيمن من الصيغة المستعملة فى ( ١ )

$$ت = \frac{ج}{م} \quad , \quad ت = \frac{ج}{م \times ج} \quad , \quad \frac{ت}{ج} = \frac{ج}{م \times ج}$$

$$\frac{ت}{ج} = \frac{١}{م} \quad \text{وينتج أن } م = \frac{ج}{ت}$$

ويقتصر استخدام قانون أوم فى الهندسة الكهربائية . والدقة فى التعبير ، يطبق هذا القانون على الموصلات المعدنية فى نطاق مدى معين لدرجة الحرارة . وسوف نتعرض لهذا الموضوع ونناقش القوانين المشتقة من قانون أوم فيما بعد .



ولزيادة الإيضاح ، نعيد هنا كتابة الثلاث صيغ السابق مناقشتها :

$$\frac{\text{الجهد ج}}{\text{المقاومة م}} = \text{شدة التيار ت}$$

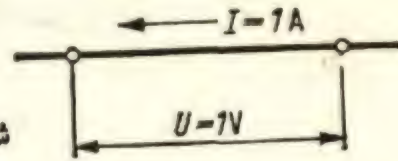
$$\text{الجهد ج} = \text{شدة التيار ت} \times \text{المقاومة م}$$

$$\frac{\text{ج}}{\text{ت}} = \frac{\text{الجهد}}{\text{شدة التيار}} = \text{المقاومة م}$$

( ١ ) تعريف وحدة المقاومة :

أمكن استنتاج أن خارج قسمة الجهد على شدة التيار  $\frac{\text{ج}}{\text{ت}}$  = مقدار ثابت ، وذلك من

الخصائص المميزة لشدة التيار والجهد ، وكذلك أوضح لنا قانون أوم أن  $\frac{\text{ج}}{\text{ت}} = \text{م}$  ، ونستخلص من ذلك أنه : عندما يمر تيار شدته أمبير واحد عند جهد قدره فلف واحد ، تكون قيمة المقاومة مساوية أوم واحد ( ١  $\Omega$  ) ، ويساعد الشكل ( ٣٧ ) في تفهم التعريف الصحيح لوحدة المقاومة .



شكل ٣٧ : شرح وحدة المقاومة :

الأوم الواحد : هو المقاومة الكهربائية بين نقطتين على موصل معدني درجة حرارته منتظمة ، ويسرى به مؤقتا تيار كهربائي ثابت قيمة شدته أمبير واحد ، عندما يكون هناك جهد قيمته فلف واحد بين هاتين النقطتين .

#### ٤/٥ - حسابات الدائرة الكهربائية الأساسية :

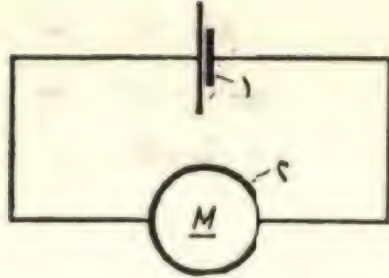
تعرف الدائرة الكهربائية الأساسية بأنها دائرة بسيطة تتكون أساسا من مصدر للجهد ، وجهاز يعمل بالكهرباء . كما تعرف أيضا بالدوائر البسيطة التي تشتمل بالإضافة إلى ذلك على مصاهر ومفاتيح كهربائية توضع في مسار التيار الكهربائي ، وفيما يلي بضعة أمثلة لحسابات مبنية على قانون أوم فيما يختص بالدائرة الكهربائية الأساسية :

مثال :

محرك كهربائي دمية ( الشكل ٣٨ ) قيمة مقاومته م ٢٦,٧  $\Omega$  ولا يتعدى مقنن شدة تياره ٤٥,٠ أمبير . فا الجهد المطلوب تسليطه على المحرك أثناء تشغيله ؟

المعطيات :  $\Omega \ 26,7 = م$   
 ت  $= 0,45$  أمبير

المطلوب : الجهد ج



شكل ٣٨ : دائرة أساسية تشتمل على :

- ١ - مصدر جهد .
- ٢ - محرك كهربائي دمية .

الحل :

$$ج = ت \times م$$

$$ج = 26,7 \times 0,45$$

$$ج = 12,015 \text{ فلت}$$

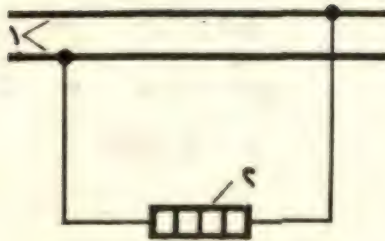
قيمة الجهد المطلوب تسليطه على المحرك الدمية أثناء تشغيله ١٢ فلت .

مثال :

مسخن غاطس ( الشكل ٣٩ ) مقاومته  $75 \Omega$  ، وحدة التيار المسموح بها  $2,75$  أمبير .  
 فا الجهد الذي يمكن تشغيل المسخن عليه ؟

المعطيات :  $\Omega \ 75 = م$   
 ت  $= 2,75$  أمبير

المطلوب : الجهد ج



شكل ٣٩ : دائرة أساسية تشتمل على :

- ١ - مصدر جهد ( مأخذ رئيسي ) .
- ٢ - مسخن ( مسخن غاطس في هذه الحالة ) .

الحل :

$$ج = ت \times م$$

$$ج = 75 \times 2,75$$

$$ج = 216,25 \text{ فلت}$$



يمكن تشغيل المسخن الفاطس من مأخذ رئيسي جهده ٢٢٠ فلت .

مثال :

الجهد عبر متابع عدة تليفون ٢٤ فلت ( الشكل ٤٠ ) . وبقياس شدة التيار وجدت ٠,٠٣ أمبير .  
فما مقاومة هذا المتابع ؟

المعطيات : ج = ٢٤ فلت

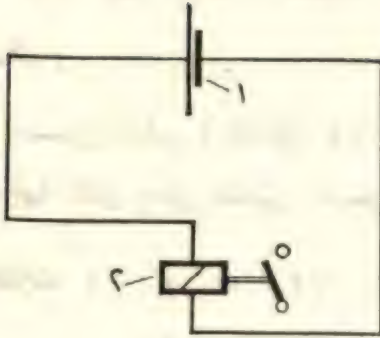
= ٠,٠٣ أمبير

المطلوب إيجاد : المقاومة م

الحل :

$$م = \frac{ج}{ت} = م = \frac{٢٤}{٠,٠٣} = ٨٠٠ \Omega$$

تكون مقاومة المتابع ٨٠٠  $\Omega$



شكل ٤٠ : دائرة أساسية تشتمل على :

١ - مصدر للجهد .

٢ - متابع .

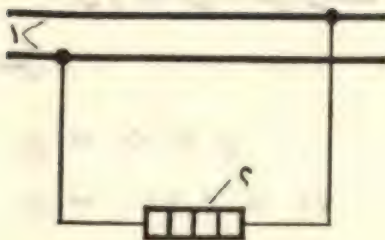
مثال :

مسخن موصل بمأخذ رئيسي جهده ١١٠ فلت ( الشكل ٤١ ) والتيار (ت) المار بالمسخن شدته ١٨,٥ أمبير . فاقية مقاومة المسخن م ؟

المعطيات : ج = ١١٠ فلت

ت = ١٨,٥ أمبير

المطلوب : المقاومة م



شكل ٤١ : دائرة أساسية تشتمل على :

١ - مأخذ رئيسي ( مصدر للجهد ) .

٢ - مسخن ( فرن تجفيف في هذه الحالة ) .

الحل

$$م = \frac{ج}{ت} = م ، \frac{١١٠}{١٨,٥} = م ، م = ٥,٩٤ \Omega$$

تكون قيمة مقاومة المسخن  $م = ٥,٩٤ \Omega$

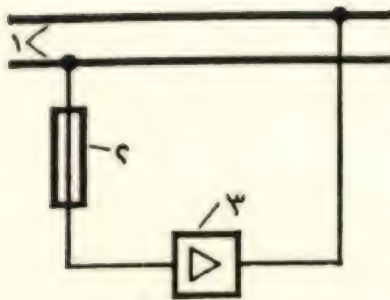
مثال :

هل يكتفى مصهر مقننه أمبير واحد ، للاستخدام في مكبر ، موصل على مصدر للجهد ج ٢٢٠ فلت . ومقاومته  $م = ٢٨٠ \Omega$  ( الشكل ٤٢ ) ؟

المعطيات : ج = ٢٢٠ فلت

م = ٢٨٠ أوم

المطلوب : شدة التيار



شكل ٤٢ : دائرة أساسية تشتمل على :

١ - مأخذ رئيسي ( مصدر للجهد ) .

٢ - مصهر .

٣ - مكبر .

الحل :

$$ت = \frac{ج}{م} = ت ، \frac{٢٢٠}{٢٨٠} = ت ، ت = ٠,٨ \text{ أمبير}$$

شدة التيار بالتقريب هي ٠,٨ أمبير .

لذا يكتفى له مصهر مقننه أمبير واحد .

مثال :

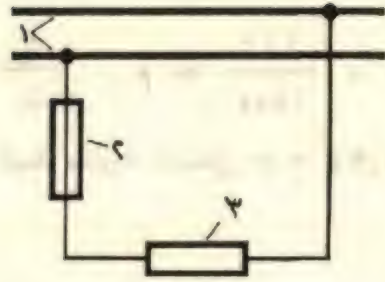
تركيبات كهربائية تعمل على جهد تشغيل قدره ٢٢٠ فلت ، ومقاومتها  $٢,٣١ \Omega$  .  
فا شدة التيار التي يتحملها المصهر اللازم لوقاية هذه التركيبات ؟

المعطيات : ج = ٢٢٠ فلت

م =  $٢,٣١ \Omega$

المطلوب : شدة التيار





شكل ٣ : دائرة أساسية تشتمل على :

١ - مأخذ رئيسي (مصدر للجهد) .

٢ - مصهر .

٣ - مقاوم .

الحل :

$$ت = \frac{ج}{م} ، ت = \frac{٢٢٠}{٢,٣١} ، ت = ٩,٥٢ \text{ أمبير}$$

يتحمل المصهر تيارا كهربائيا شدته ١٠ أمبير لوقاية هذه التركيبات .



## الفصل السادس

### مواد الموصلات - ومواد المقاومات - والمواد العازلة

يطلق على المواد التي توصل التيار الكهربائي ، بصفة عامة ، موصلات - على حين يطلق على المواد التي لا توصل لتيار الكهربائي ، عند درجة حرارة محيطتها قدرها  $20^{\circ}\text{C}$  ، مواد غير موصلة أو عوازل . وعادة تصنف المواد طبقا للموصلية الكهربائية على الوجه التالي :

موصل - شبه موصل - غير موصل ، أو مواد موصلات - مواد مقاومات - مواد عازلة .

ويبين كل من هذين التصنيفين قصورا في المعنى المقصود منه ، وبالأخذ في الاعتبار لما يهدف إليه هذا الكتاب ، نجد أن التصنيف الأخير هو المفيد ، وذلك بالرغم من أنه لا يشمل على المجموعة الأكثر أهمية من الناحية الفنية ، والتي تدعو للاهتمام في النيزياء الكهربائية ، وهي مجموعة « شبه الموصلات » . وعلى كل فإننا سوف نتناول مجموعة شبه الموصلات ضمن موضوعات أخرى وهي المقومات الترانزستور .

ويبنى تصنيف المواد إلى مواد موصلات ومواد مقاومات ومواد عازلة ، على الاستخدام المطلوب لها في الهندسة الكهربائية . وتعتبر ببساطة مواد الموصلات ومواد المقاومات من الناحية الفيزيائية الكهربائية ، موصلات ، بينما تعتبر المواد العازلة غير موصلات .

وتستخدم المعادن وسبائكها كمواد موصلات أو مواد مقاومات . ويستخدم الكربون كذلك وخاصة بعض أشكاله المعدلة مثل الجرافيت كمواد مقاومات .

وفيما يلي مناقشة الفروق بين مواد الموصلات ومواد المقومات والمواد العازلة ، مع أخذ تصرفها كهربائيا في الاعتبار .

٦-١ - العلاقة بين المقاومة ( م ) والطول ( ل ) ومساحة القطع المستعرض ( ج ) للموصل :

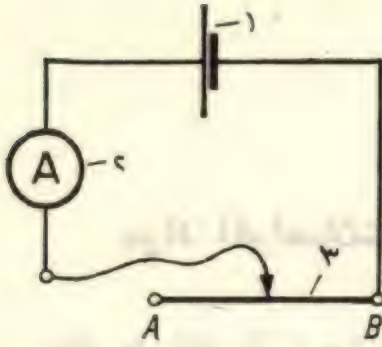
( أ ) العلاقة بين مقاومة موصل وطوله :

يمكن تحديد العلاقة بين مقاومة موصل وطوله بسهولة ، وذلك بمساعدة ترتيبية الاختبار الموضح رسم دائرتها بالشكل ( ٤٤ ) . وينصح باستخدام سلك مقاومة طوله متر واحد ، من ملف تسخين كهربائي .

ويوصل السلك المقاوم بين نقطتي أ ، ب ( الشكل ٤٤ ) وتشغل الترتيبة .



شكل ٤٤ : رسم الدائرة لترقيبة اختبار لتمثيل العلاقة بين مقاومة موصل ( م ) وطوله ( ل ) .



١ - مصدر للجهد ( حوالى ٢ فلت ) .

٢ - أميتر ( يقيس حوالى ٣ أمبير ) .

٣ - سلك مقاوم طوله متر واحد .

وبين الأميتر قيمة تطلق عليها هنا ( س ) ، وعلى هذا تكون :

القيمة المبينة	س
طول سلك المقاومة	١ متر

ثم يجرى التوصيل بين الأميتر ونقطة في منتصف سلك المقاومة أ ب - نجد أن قراءة الأميتر تصبح ضعف القيمة السابقة .  
وعلى هذا تكون :

القيمة المبينة	٢ س
طول سلك المقاومة	$\frac{1}{2}$ متر

وبتكرار هذه العملية ينتج ما يلى :

القيمة المبينة	٤ س
طول سلك المقاومة	$\frac{1}{4}$ متر

ويتضح عمليا أن هناك علاقة بين القيمة المبينة وطول سلك المقاومة . وعلى هذا يمكن التوصيل إلى النتيجة التالية :

١ - تزداد المقاومة كهربائية ( م ) بزيادة طول الموصل ( ل ) .

٢ - تتناسب قيمة المقاومة الكهربائية ( م ) تناسباً طردياً مع طول الموصل .

$$م \propto ل$$

( ب ) العلاقة بين مقاومة موصل ومساحة مقطعه المستعرض :

يمكن بسهولة توضيح العلاقة بين مقاومة موصل ومساحة مقطعه المستعرض ، وذلك بمساعدة

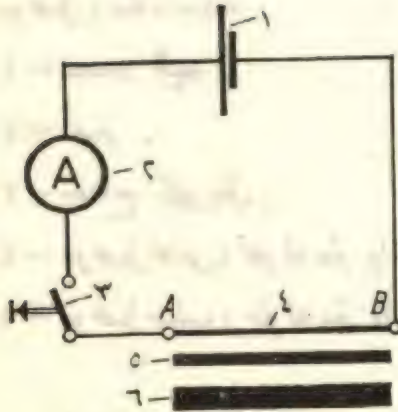
ترتيبية الاختبار الموضحة بالشكل ( ٤٥ ) . ويوصى هنا باستخدام ثلاثة موصلات من نفس المادة

ومساحة مقطعها المستعرض ١ مم<sup>٢</sup> ، ٢ مم<sup>٢</sup> ، ٤ مم<sup>٢</sup> ، ولها نفس الأطوال .

وبتسجيل قراءة الميّن عندما نوصل أى من هذه الموصلات الثلاثة فى الدائرة ، نحصل على النتيجة التالية :

القيمة الميّن	مساحة المقطع المستعرض للموصل
س	١ مم <sup>٢</sup>
٢ س	٢ مم <sup>٢</sup>
٤ س	٤ مم <sup>٢</sup>

شكل ٤٥ : رسم الدائرة لترتيبة اختبار لتمثيل العلاقة بين مقاومة موصل ( م ) ومساحة مقطعه المستعرض ( ج ) .



١ - مصدر للجهد .

٢ - أميتر .

٣ - مفتاح كهربائى .

٤ - موصل طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ١ مم<sup>٢</sup> .

٥ - موصل طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ٢ مم<sup>٢</sup> .

٦ - موصل طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ٤ مم<sup>٢</sup> .

فستنتج ما يلى :

١ - تقل المقاومة الكهربائية لموصل بزيادة مساحة مقطعه المستعرض ( وعلى ذلك يسمح بمرور تيار كهربائى شدته أعلى ) .

٢ - تتناسب المقاومة الكهربائية ( م ) لموصل تناسباً عكسياً مع مساحة مقطعه المستعرض ( ج ) .

إدماج هاتين العلاقتين :

تتبعاً لقانون أوم يمكن استنتاج ما يلى :

$$\begin{aligned} \text{م} &\propto \text{ل} & \text{م} &\propto \frac{1}{\text{ج}} \\ \text{أى أن} & & \text{م} &\propto \frac{\text{ل}}{\text{ج}} \end{aligned}$$

وهذا يعنى أن المقاومة تتناسب تناسباً طردياً مع طول الموصل وعكسياً مع مساحة مقطعه المستعرض :



## ٢/٦ - المقاومة والمرصلية :

### ( ١ ) المقاومة :

تبنى العلاقات المابقة على الأبعاد الهندسية ( الطول ومساحة المقطع المستعرض ) ، والمقاومات لموصلات من نفس النوع . وعلى ذلك يكون من المفروض ضمنا إيجاد العلاقة بين المقاومة الكهربائية ( م ) لموصل ، وبين مادته التي يصنع منها .

يمكن بسهولة توضيح العلاقة بين المقاومة الكهربائية ومادة صنعه ، بمساعدة ترتيبية الاختبار المبينة بالشكل ( ٤٦ ) . ويوصى باستخدام موصلين لهما نفس الأبعاد ، ولكن من مادتين مختلفتين .

شكل ٤٦ : رسم الدائرة لترتيبة اختبار لتمثيل العلاقة بين مقاومة

موصل ومادة صنعه .

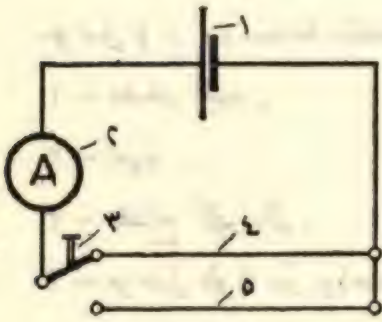
١ - مصدر للجهد .

٢ - أميتر .

٣ - مفتاح كهربائي .

٤ - موصل نحاس : طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ١ مم<sup>٢</sup>

٥ - موصل صلب : طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ١ مم<sup>٢</sup>



نستنتج من هذا الاختبار ما يلي :

١ - تكون شدة التيار في حالة إدخال موصل نحاس في الدائرة مساوية ٨ مرات شدة التيار التي تمر في موصل صلب له نفس الأبعاد عندما يوضع في نفس الدائرة .

٢ - تختلف شدة التيار التي تمر في الموصلات باختلاف مواد صنعها ، إذا أدخلت هذه الموصلات في نفس الدائرة ، وكانت أبعادها واحدة .

لكل مادة مقاومتها الكهربائية الخاصة بنوعها ، وتسمى « المقاومة النوعية للمادة » .

تسمى الخاصية التي تربط بين المقاومة النوعية لمادة وأبعادها  $l = ١$  متر ،  $j = ١$  مم<sup>٢</sup> ،

« بمقاومة المادة » وإذا رمزنا للمقاومة بالرمز  $\rho$  ( رو ) ، نجد أن المقاومة ( م ) تتناسب تناسبا طرديا مع المقاومة .

$$\rho \propto M$$

قانون المقاومة :

$$\text{تدمج} \quad \text{العلاقتان} \quad M \propto \frac{l}{j}$$

$$\rho \propto M$$

لنحصل على قانون المقاومة :

$$\frac{L \times \rho}{ج} = م$$

ويعنى هذا القانون أن المقاومة الكهربائية لأى موصل ، تعتمد على مقاومة مادة صنعه وطوله ومساحة مقطعه المستعرض .

ولتحديد قيمة المقاومة لأى موصل ، تحل المعادلة = م  $\frac{L \times \rho}{ج}$  لإيجاد  $\rho$

$$\frac{L \times \rho}{ج} = م \quad \text{بتعديل طرفى للمعادلة}$$

$$م = \frac{L \times \rho}{ج}$$

$$\frac{ج}{ل} \times م = \frac{ج}{ل} \times \frac{L \times \rho}{ج}$$

بالاختصار فى الطرف الأيمن ينتج :

$$\frac{ج}{ل} \times م = \rho \quad \text{ل ( بالتر ) ، ج ( بالمليمتر المربع ) .}$$

وعندما تكون م بالأوم (  $\Omega$  ) ، ل ( بالتر ) ، ج ( بالمليمتر المربع ) نحصل على

$$\frac{\Omega م^2}{م} \quad \text{وحدة } \rho \text{ بهذا الشكل}$$

( ب ) الموصلية :

فى حالات متعددة ، لا يكون قانون المقاومة بصيغته السابقة ملائماً للعمليات الرياضية التى تتطلبها حسابات أطوال الموصلات ومساحات مقاطعها المستعرضة ومقاوماتها الكهربائية أو مقاوماتها النوعية .

ويفضل عادة استخدام مقلوب قيمة المقاومة  $\frac{1}{\rho}$  ، ويطلق عليه « الموصلية » ويرمز

لها بالرمز  $\chi$  ( كابا ) .

$$\frac{1}{\rho} = \chi \quad \text{وعلى ذلك تكون الموصلية}$$



وتبعاً لذلك تحسب المقاومة لأي موصل على أساس :

$$\frac{L}{\gamma} \times \frac{1}{\chi} = \rho \quad \text{أو} \quad \frac{L \times \rho}{\gamma} = \rho$$

مثال :

مطلوب عمل ملف مقاومته  $\Omega \ 200$  . وإذا استخدم سلك من النحاس المعزول مساحة مقطعه المستعرض  $\gamma = 0.02 \text{ مم}^2$  وموصلية  $\chi = 56$  ، احسب طول السلك المطلوب لهذا الملف بالأمتار .

المعطيات :

$$\Omega \ 200 = \rho$$

$$\gamma = 0.02 \text{ مم}^2$$

$$\chi = 56$$

المطلوب : الطول  $L$  بالأمتار

الحل :

من المعادلة :

$$\frac{L}{\gamma} = \rho$$

$$\text{بتبديل طرفي المعادلة} \quad \rho = \frac{L}{\gamma}$$

$$\gamma \times \rho = L$$

بضرب كل من الطرفين في  $\chi$  جـ

وبالاختصار في الطرف الأيمن ينتج أن :

$$\gamma \times \rho \times \chi = L$$

بالتعويض في المعادلة الأخيرة

$$0.02 \times 56 \times 200 = L$$

$$L = 224 \text{ متر}$$

طول السلك المطلوب هو ٢٢٤ متر .

## ٣/٦ - مواد الموصلات :

### (١) مواد الموصلات وقيم مقاومتها :

اتضح لنا من الشرح السابق أن المقاومة النوعية لمواد الموصلات أقل من المقاومة النوعية للمقاومات أو المواد العازلة . علاوة على أن هناك عدة عوامل يجب أخذها في الاعتبار عند اختبار المادة التي يصنع منها الموصل ، وهي متانته ، ومقاومته للتأثيرات الخارجية ، وإمكانية تصنيعه . ويوضح الجدول التالي مواد الموصلات الأكثر شيوعاً للاستخدام في الهندسة الكهربائية :

مادة الموصل	المقاومية $\rho$	$\frac{\Omega \cdot \text{م}^2}{\text{م}}$	الموصلية $\chi$	$\frac{\text{م}^2}{\Omega \cdot \text{م}}$
فضة	٠,٠١٦٥		٦١	
نحاس أحمر	٠,٠١٧٨		٥٦	
ألومنيوم	٠,٠٢٨٧		٣٥	
برونز	٠,٠١٨	إلى ٠,٠٥٦	٥٥ إلى ١٨	
سبيكة الدري	٠,٠٣٣		٣٠	
صلب	٠,١٠	إلى ٠,١٥	١٠ إلى ٦,٦	
رصاص	٠,٢١		٤,٨	

وهذه القيم محسوبة عند درجة حرارة محيطتها قدرها ٢٠ °م ، ويلاحظ أن القيم المذكورة للموصلية والمقاومية ليست ثابتة بدرجة مطلقة ، حيث أنها تعتمد على النسبة المئوية لنقاء مادة الموصل .

### (ب) وصف موجز لمواد الموصلات :

**الفضة :** ولها أعلى موصلية ولكنها لا تستخدم كمادة موصلات في تركيبات القوى الكهربائية والتنذية ، وذلك نظراً لارتفاع سعرها وقلة متانتها الميكانيكية . ومع ذلك فقد تستخدم الفضة كعنصر صهر أو ملامسة في مجموعة مفاتيح التشغيل الميكانيكية الكهربائية .

**النحاس :** ويعتبر المادة التقليدية للموصلات . وله كل الخواص الكهربائية والميكانيكية اللازمة للاستخدام في الهندسة الكهربائية ، لذا أصبح النحاس مادة الموصلات المفضلة . ومنذ حوالي ٢٠ عاماً ، بدأ الألومنيوم يحل محل النحاس تدريجياً في خطوط نقل وتوزيع القدرة الكهربائية .



**الألومنيوم :** وقد أصبح مادة هامة للهندسة الكهربائية بعد تطوير العمليات الاقتصادية لإنتاجه ، إلى جانب خفة وزنه بالنسبة للنحاس . فثلا ، يساوى وزن خط التوصيل الألومنيوم نصف وزن الخط النحاسى المساوى له فى المقاومة الكهربائية بالرغم من أن مساحة المقطع المستعرض لخط الألومنيوم تكون أكبر . وبفضل استخدامه فى تكوين المكثات الكهربائية وأنظمة نقل القدرة الكهربائية .

**البرونز :** وهو سبيكة من النحاس . ولإنتاج موصلات مصنوعة منه ، يضاف إلى النحاس ما قيمته ٣ فى المائة من مكونات تشتمل على القصدير بالمغنسيوم والزنك والسليكون والبوتاس والفوسفور .

وتستخدم الموصلات البرونز فى الأماكن التى تتعرض للتآكل الكثيف الناتج عن إجهادات ميكانيكية ، مثل خطوط الجسر الكهربائية ( السكك الحديدية الكهربائية والترام والتrolley باس ) وما شابههما ، والأجزاء الدوارة ( المبدلات وحلقات الانزلاق ) فى المكثات الكهربائية .

**سبيكة الدوى :** وهى سبيكة من الألومنيوم . ويتكون بإضافة كميات صغيرة من المغنسيوم والحديد والسليكون إلى الألومنيوم . ويؤدى هذا إلى تخفيض الموصلية من ١٠ إلى ١٥ فى المائة بمقارنتها مع الألومنيوم النقى ، ومع ذلك فهذا يؤدى إلى ازدياد مقاومة الشد بحوالى ٧٠ فى المائة .

**الصلب :** ويندر استخدامه على حدة كمادة موصلة . وتستخدم أسلاك الصلب أساسا لتزيد من متانة خطوط نقل القدرة للجهد العالى . ولهذا الغرض فإنها تجدل مع موصلات الألومنيوم . وتستخدم القضبان الصلب فى بعض حالات الجسر الكهربائى كوصل رجوع لتكملة الدائرة .

**الرصاص :** وغالبا ما يستخدم كمادة موصلة فى المراكم التى تحتوى على أحماض ( البطاريات ) وتصنع أطراف توصيلها وموصلات خلاياها الداخلية من الرصاص ( وذلك نظرا لمقاومته للأحماض ) ويستخدم الرصاص كوصل تأريض فى الكبلات ذات أغلفة الرصاص .

#### ٤/٦ - مواد المقاومة :

##### ( ١ ) قيمتها ووصف موجز لها :

تستخدم مواد المقاومة فى صناعة المقاومات . ويبين الجدول التالى بضع مواد مقاومة من الشائعة الاستخدام .

الموصلية	المقاومية $\rho$	مادة المقاومة
$\frac{\rho}{\Omega \text{ مم}^2}$	$\frac{\Omega \text{ مم}^2}{\rho}$	
٢,٣	٠,٤٣	نيكولايت ( ذرنجيد النيكل )
٢,٣	٠,٤٣	مانجنين
٢,٠	٠,٥٠	كونستنتان
٠,٩١	١,١	نيكل كروم
٠,٠٣٣	٣٠	مقاومات كربونية

وبوجه عام ، يميز بين مواد المقاومة المعدنية ومواد المقاومة الخزفية . وتشتمل الأخيرة عادة على الأنواع الكربونية بالرغم من أنه يستخدم فيها جسم يكون عادة على شكل أنبوبة خزفية لحمل طبقة الكربون التي تكون مادة المقاومة .

تكون مواد المقاومة المعدنية الأكثر شيوعا في الاستخدام عبارة عن سبائك وهي :

النيكولايت : ويتكون من ٥٤ في المائة نحاس أحمر و ٢٦ في المائة نيكل و ٢٠ في المائة زنك .

المانجنين : ويتكون من ٨٦ في المائة نحاس أحمر و ١٢ في المائة مانجنيز و ٢ في المائة نيكل .

الكونستنتان : ويتكون من ٥٨ في المائة نحاس أحمر و ٤١ في المائة نيكل و ١ في المائة مانجنيز .

النيكل كروم : ويتكون من ٧٨ في المائة نيكل و ٢٠ في المائة كروم و ٢ في المائة مانجنيز .

وتشكل هذه المواد على هيئة أشكال مستديرة أو مفلطحة وتعتبر مواد المقاومة هذه من المواد الأساسية في صناعة أجهزة التسخين الكهربائية وأنواع كثيرة من المقاومات .

وتعتمد مواد المقاومة الخزفية أساسا على السليكون ، وتكون عادة ، على شكل أنابيب أو قضبان ، وتستخدم في صناعة أجهزة التسخين الكهربائية كمقاومة تسخين .



## (ب) أنواع المقاومات :

سنشرح هنا الأنواع المختلفة للمقاومة الأومية . ويطلق عليها هذه التسمية لتمييزها عن المقاومات الحثية والمقاومات السعوية . وتمثي هذه الأنواع من المقاومات مع قوانين دائرة التيار المستمر .

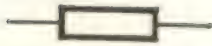
المقاومات الأومية ذات القيم غير المتغيرة :

يبين الشكل (٤٧) الرمز التخطيطي لمقاوم غير متغير .

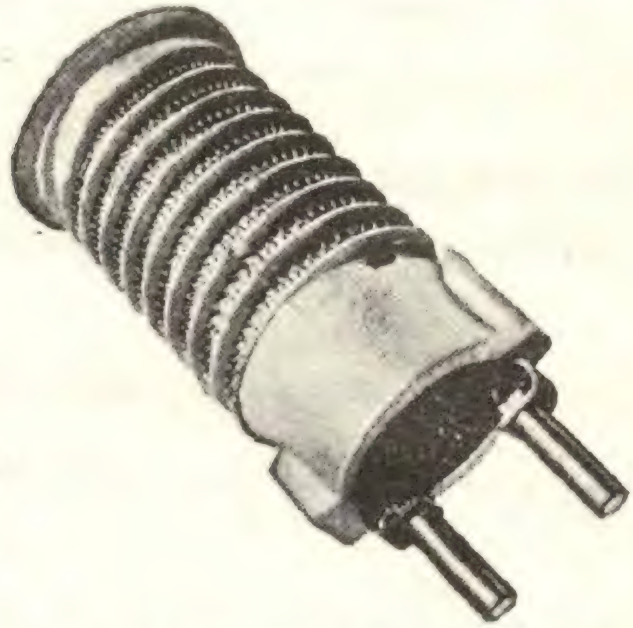
ويبين الشكل (٤٨) مثالا لمقاوم تسخين فتيلي في مسخن بشكل قطع مكافئ\* .

ويبين الشكل (٤٩) مثالا لمقاوم تسخين فتيلي في مكواة كهربائية .

ويبين الشكل (٥٠) مثالا لمقاوم تسخين فتيلي لفرن تلدين ( فرن تخمير ) .



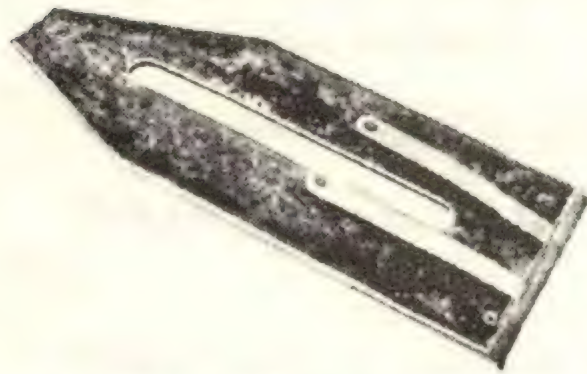
شكل ٤٧ : رمز تخطيطي لمقاوم غير متغير



شكل ٤٩ : مقاوم فتيل تسخين لمكواة

كهربائية VEB Elektroworme

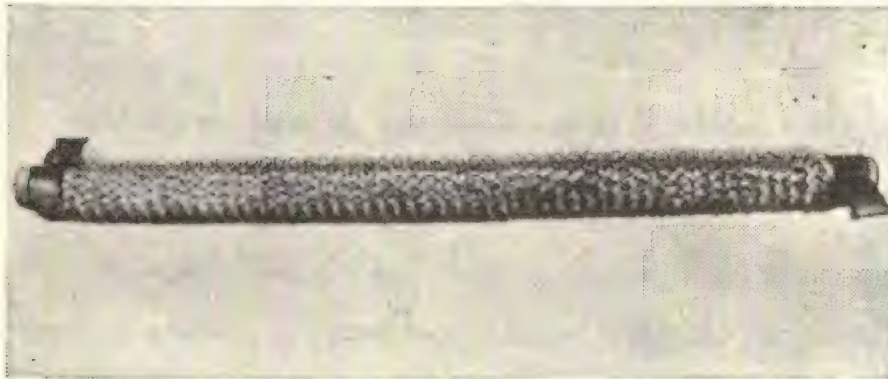
Sornewitz GDR



شكل ٤٨ : مسخن أو مقاوم فتيل تسخين

لمسخن بشكل قطع مكافئ\* VEB

Elektroworme Sornewitz GDR



شكل ٥٠ : مقاوم فتيل

تسخين لفرن تلدين .

VEB

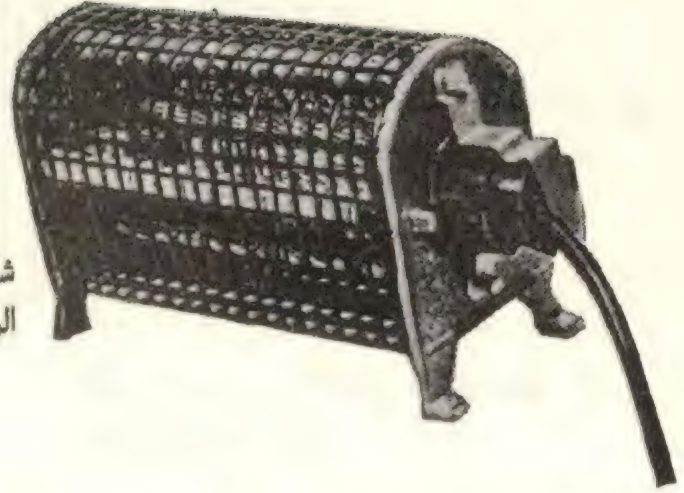
Elektroworme

Sornewitz GDR





شكل ٥٢ : مقاوم من النوع الكربوني هندسة الراديو والتليفزيون .



شكل ٥٢ : رمز تخطيطي لمقاوم متغير على خطوات :

شكل ٥١ : مقاوم توالى من السلك الملفوف لأجهزة العرض السينمائي .

ويمثل الشكل (٥١) رمزا تخطيطيا لمقاوم توالى من السلك الملفوف لأجهزة العرض السينمائي .  
ويمثل الشكل (٥٢) رمزا تخطيطيا لمقاوم من النوع الكربوني هندسة الراديو والتليفزيون .

مقاومات متغيرة على خطوات :

يبين الشكل (٥٣) رمزا تخطيطيا لمقاوم متغير على خطوات ، ويبين الشكل (٥٤) رمزا تخطيطيا لمقاوم بدء دوران محرك كهربائي ، بينما التمثيل التخطيطي في الشكل (٥٥) لطريقة تشغيل مقاوم من هذا النوع ، تزداد أو تنخفض مقاومته المكافئة م على خطوات ، بواسطة مجموعة مفاتيح تشغيل .

مقاومات متغيرة لا نهائية :

يبين الشكل (٥٦) الرمز التخطيطي لمقاوم متغير لا نهائي يعطى مقاومة أومية .

و الشكل (٥٧) لمقاوم منزلق .

والشكل (٥٨) لمقاوم دوار من السلك الملفوف .

والشكل (٥٩) لمقاوم دوار من النوع الكربوني . ويطلق عادة على المقاوم الدوار مجزئ للجهـد ( بوتنشيوتر ) .

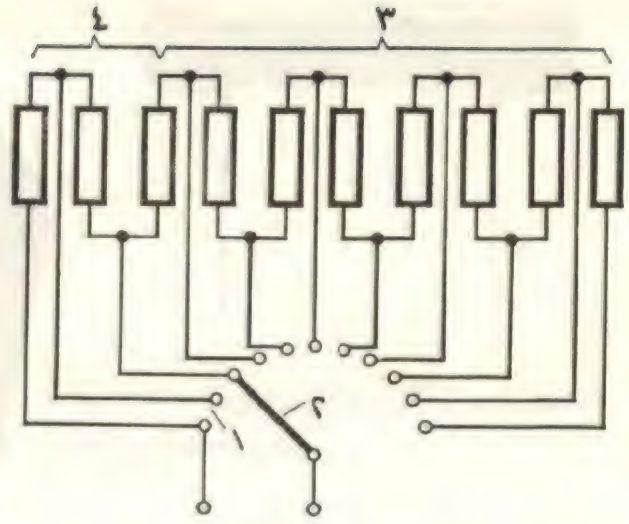
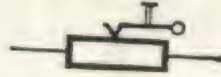


شكل ٥٤ : مقاوم بدء دوران محرك كهربائي :

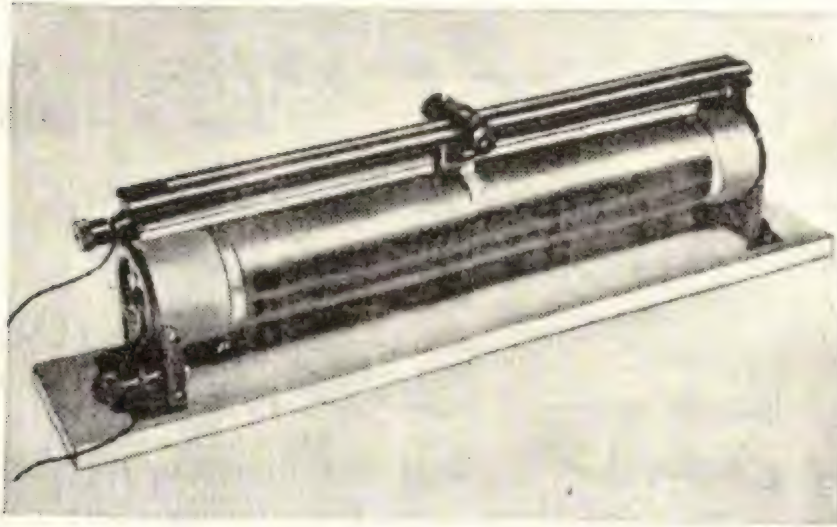


شكل ٥٥ : تمثيل تخطيطي لمقاوم بدء دوران :

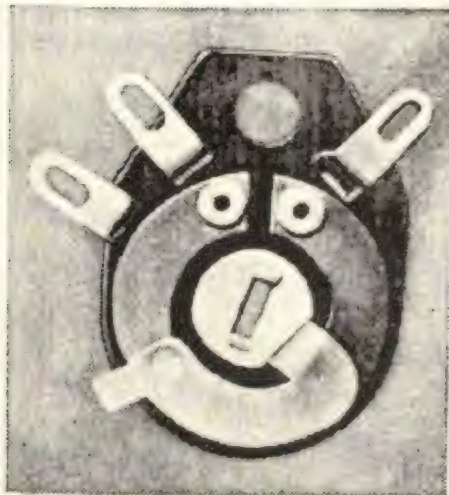
- ١ - ممر الملامسات .
- ٢ - ملامس منزلق .
- ٣ - هذا الجزء من المقاوم ليس له أى تأثير على الدائرة نتيجة لوضع التشغيل المين .
- ٤ - الجزء الفعال للمقاوم .



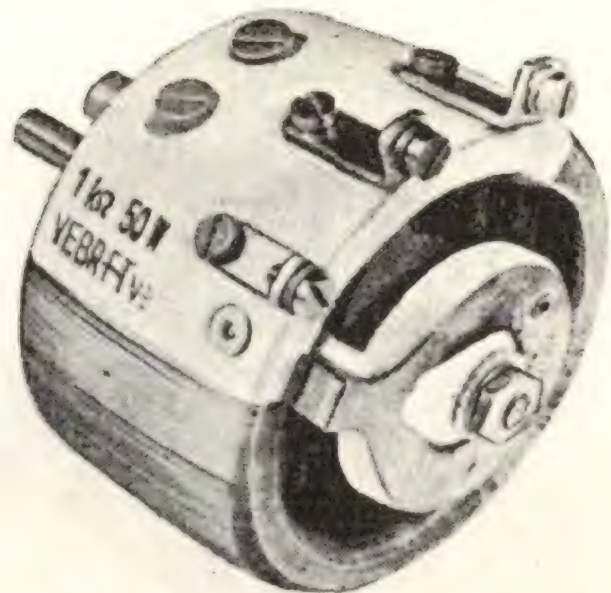
شكل ٥٦ : رمز تخطيطي لمقاوم متغير لانهاى يعطى معاومة أومية :



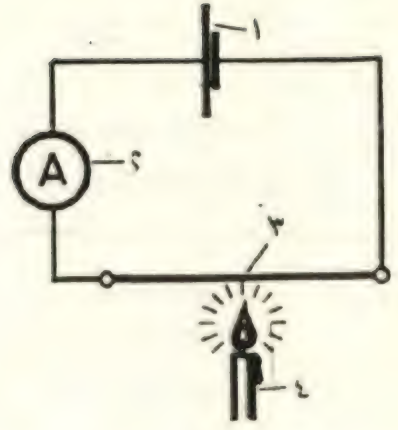
شكل ٥٧ :  
مقاوم منزلق :



شكل ٥٩ : مقاوم دوار من النوع الكربوني :



شكل ٥٨ : مقاوم دوار من السلك الملفوف :  
( VEB RET Berlin, GDR )



شكل ٦٠ : ترتيب اختبار لتمثيل تأثير درجة الحرارة :

- ١ - مصدر للجهد .
- ٢ - أميتر .
- ٣ - سلك صلب .
- ٤ - مصدر للحرارة لمب غاز .

( ج ) تأثير درجة الحرارة على المقاومة :

كانت مناقشاتنا السابقة فيما يتعلق بالمقاومات مبنية على أساس أن درجة الحرارة المحيطة  $20^{\circ}\text{C}$  . ويمكن تحديد تأثير درجة الحرارة على المقاومات باستخدام ترتيب اختبار كما هو موضح بالشكل ( ٦٠ ) و بإجراء القياسات التالية :

- ١ - عندما يكون السلك المقاوم دافئا .
  - ٢ - عندما يكون السلك المقاوم عند درجة حرارة مرتفعة .
  - ٣ - عندما يكون السلك المقاوم في حالة الاحمرار .
- نلاحظ أن المقاومة تزداد بازدياد درجة الحرارة .

وبإجراء اختبارات عديدة مماثلة ، نستخلص من النتائج التي نحصل عليها أن المقاومة تتغير بتغيير درجة الحرارة . وعموما ، تزداد مقاومة المعادن النقية برفع درجة حرارتها ، على حين تنقص مقاومة بضع سبائك بارتفاع درجة الحرارة ( ويطبق هذا أيضا على السوائل الموصلة كهربائيا ) .

المعامل الحرارى :

في حالات كثيرة يكون من المهم معرفة القيمة الحقيقية للمقاومة عند درجة حرارة معينة . ( تخيل ، مثلا ، أن مقاومات فتيل تسخين الصمامات الالكترونية تعتبر مقاومتها ، وبالتالي شدة تيارها ، ثابتة فقط بعد ارتفاع معين في درجة الحرارة . ويعبر عن المعامل الحرارى بتأثير درجات الحرارة على المقاومة ) .

المعامل الحرارى هو ثابت يعبر عن التغيير الذى تتعرض له مقاومة معينة نتيجة لارتفاع درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة ، بالنسبة لدرجة حرارة مبدئية  $20^{\circ}\text{C}$  .

ويرمز للمعامل الحرارى بالرمز  $\alpha$  ( الفا ) ، ووحدته  $\frac{1}{^{\circ}\text{C}}$  . ولأخذ درجة الحرارة

المبدئية في الاعتبار يكتب المعامل الحرارى بالطريقة التالية :  $\alpha_{20}$



ويبين الجدول التالي بضع معاملات للحرارة :

المادة	$\alpha$ بالدرجة المئوية	المادة	$\alpha$ بالدرجة المئوية
فضة	٠,٠٠٣٨	قصدير	٠,٠٠٤٢
نحاس	٠,٠٠٣٩٣	بلاتين	٠,٠٠٢٥
الومنيوم	٠,٠٠٣٧٧	رصاص	٠,٠٠٤٢
زنك	٠,٠٠٣٧	سبيكة الدري	٠,٠٠٣٦
نيكل	من ٠,٠٠٣٧ إلى ٠,٠٠٦	نحاس أصفر	٠,٠٠١٥
حديد	من ٠,٠٠٤٥ إلى ٠,٠٠٦	نيكولايت	٠,٠٠٢٣
		منجانيك	٠,٠٠٠٠١
		كونستانتان	٠,٠٠٠٠٣
		نيكل كروم	٠,٠٠٠١٠٠

وتبين الإشارة السالبة للمعامل الحرارى للكونستانتان أن مقاومته تقل بارتفاع درجة حرارته .

مثال :

تشتمل معدات معمل تجفيف على مقاومات من سلك نيكولايت ، تسخن أسلاك المقاومة إلى  $110^{\circ}\text{C}$  . فما هي المقاومة الكهربائية لها عند هذه الدرجة ، إذا كانت مقاومتها عند درجة الحرارة المحيطة  $63\ \Omega$  (  $20^{\circ}\text{C}$  ) ؟

المعطيات :

$$63\ \Omega = 20^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{1}{\alpha} = 0,0001 = 10^{-4}$$

$$100^{\circ}\text{C} = \Theta$$

المطلوب : المقاومة عند درجة الحرارة النهائية (  $\Theta$  ) .

الحل :

فيما يلي تعليق على المعادلة المستخدمة في حل هذه المسألة ، وتصلح هذه الصيغة فقط حتى مدى لدرجات الحرارة يصل إلى  $100^{\circ}\text{C}$  . ويعطى تطبيقها درجة مرضية من الدقة ، وقد اختصرت المعادلة هنا إلى صيغة أساسية ، ويمكن إثبات ذلك بعدة عوامل رياضية معروفة .

يحدد أولا ، الفرق في درجة الحرارة ،  $\Theta - 20^\circ \text{C}$  . ثم يضرب في المعامل الحرارى لمادة المقاومة . ويضاف إلى ناتج الضرب واحد صحيح . ينتج المعامل الذى تضرب فيه المقاومة عند درجة الحرارة المحيطة ، لتنتج قيمة المقاومة  $\Theta \text{ م}$  عند درجة الحرارة النهائية ، وعلى هذا

$$\Theta \text{ م} = 20.2 (1 + 2.5 \times 10^{-5} (\Theta - 20^\circ \text{C}))$$

$$= 63 (1 + 2.5 \times 10^{-5} (100 - 20^\circ \text{C}))$$

$$= 63 (1 + 2.5 \times 10^{-5} \times 80^\circ \text{C})$$

$$= 63 (1.008)$$

$$= 63.504 \Omega$$

نلاحظ أن شدة التيار والجهد يتعرضان في هذه الحالة ، إلى تغيرات طفيفة ، ولكنها غير ملحوظة في حالة استخدام هذه المادة في المقاومات . ولكن عندما يستبدل النيكلولايت بالنحاس ،

$$\text{الذى معاملته الحرارى } 2.8 \times 10^{-5} \text{ يساوى } 2.8 \times 10^{-5} \text{ م}$$

$$\Theta \text{ م} = 83.8 \Omega . \text{ وهذا يعنى زيادة في المقاومة بحوالى الثلث تقريبا بالنسبة للقيمة}$$

المبدئية . ولذلك فإن شدة التيار والجهد يتعرضان لتغيرات كبيرة . ويطلق على مواد المقاومة ذات المعامل الحرارى السالب مثل الكونستنتان موصلات درجات الحرارة العالية أو « ثرمستور » ، ويستخدم في صناعة فتيل التسخين للصمامات الالكترونية .

وتكون المقاومة صغيرة لفتيل التسخين في أجهزة الاستقبال التى يطلق عليها ( مستقبلات كل المآخذ ) ، والمعروفة بأجهزة الاستقبال للتيار المستمر والتيار المتردد ، وذلك عند لحظة تشغيلها . حيث يكون التيار المسار بها كبيرا ، مما يعرض الصمام لإجهادات تموجيه ، إلى أن ترتفع المقاومة بقدر كاف عندما تصل درجة حرارتها إلى درجة حرارة التشغيل . وبتوصيل مادة مقاومة معاملها الحرارى سالب من الكونستنتان إلى الدوائر التى يكون من خواصها أن مقاومتها تكون منخفضة عند بدء التشغيل ( فتيل تسخين ) ، ومقاومتها مرتفعة عند التشغيل المستقر . فينتج من ذلك ارتفاع في مقاومة الفتيل ، وانخفاض في المقاومة عند التشغيل المستقر . ويؤدى ذلك عمليا إلى ثبات التيار المسار بها . ويمكن استخدام تأثير درجة الحرارة على المقاومة في قياس درجات الحرارة ، بقياس المقاومة . ويستخدم ذلك على سبيل المثال ، في قياس الارتفاع في درجة حرارة الملفات التى يراد اختبارها، حيث يؤدى ارتفاع درجة حرارتها، لقيمة غير مسموح بها ، إلى تلف العزل ، الذى يؤدى بدوره إلى انهيار المكنة الكهربائية .



## ( أ ) تصنيف المواد العازلة :

تم اكتشاف وإنتاج عديد من مواد العزل ، في مضمار تطوير الهندسة الكهربائية بأعداد كبيرة يصعب حصرها ، ويضاف إلى ذلك تسويق مواد عازلة من نفس المكون تحت أسماء تجارية مختلفة . ويعطى التصنيف التالى حصرا لما يحتويه هذا المجال المتسع من المواد العازلة :

مواد طبيعية غير عضوية .

مواد طبيعية عضوية .

مواد عزل من الخزف والزجاج .

ورق - نسيج وزيت .

لدائن .

وتم هذا التصنيف طبقا لطبيعة المادة المصنوع منها هذه العوازل ، واستخداماتها المختلفة .

## ( ب ) قيم المقاومة لمواد العزل :

يختلف تحديد المقارمية لمواد الموصلات ومواد المقاومات عنه في مواد العزل ، حيث لا يعتمد تحديد المقارمية لمواد العزل على مساحة مقطع مستعرض مقدارها ١ م<sup>٢</sup> وطول قدره ١ م . ولكن هذا التحديد يكون على أساس مكعب طول ضلعه متر واحد . وهذا هو تعريف الأوم .

مثال :

الوحدة	القيمة
$\frac{\Omega \text{ م}^2}{\text{م}}$	١,١
$\frac{\Omega \text{ سم}^2}{\text{م}}$	٠,٠١١
$\frac{\Omega \text{ ديسم}^2}{\text{م}}$	٠,٠٠٠١١
$\frac{\Omega \text{ م}^2}{\text{م}}$	٠,٠٠٠٠٠١١

ويمكن كتابة التعبير  $\frac{\Omega \text{ م}^2}{\text{م}}$  بالطريقة التالية

$$\frac{\Omega \text{ م} \times \text{م}}{\text{م}}$$

وتصبح القيمة الأخيرة في المثال السابق بعد الاختصار  $\Omega \text{ م} \times ٠,٠٠٠٠٠٠١١$  .

ويوضح الجدول التالى بعض مواد العزل ومقادير مقاومات عزلها . وللتسهيل سوف نكتب الأرقام مرفوعة للأس .

مثال :

يبين الجدول التالي مقاومة العزل للكوارتز وبقدرها  $\times 1910 \Omega$  م ويمكن كتابتها أيضا .

$\times 4 \dots \dots \dots 10 \Omega$  م أو  $\dots \dots \dots 40 \Omega$  م

مادة العزل      مقاومة العزل  $\Omega$  م

$1910 \times 4$	الكوارتز
$1610 - 1510$	الميكال
$1510 \times 2$	الأسبتوس
$1610$	المطاط الطبيعي
$1210$	المطاط الصناعي
$1510 - 1410$	الصيني الصلب والمصقول
$1510 - 1410$	الاستيتيت ( حجر صناعي )
$1410 - 1110$	الزجاج
$1210 - 1110$	الورق المشرب بالبرافين
$1410 - 1010$	الورق المضغوط
$1210$	زيت المحولات
$1510 - 1010$	تجهيزات خزفية خاصة
$1510 - 1210$	اللدائن

### ( ج ) شرح موجز لمواد عازلة :

الكوارتز : يستخدم كمادة عازلة في اجهزة القياس ، وخاصة في مجالات الترددات العالية .  
ويستخدم الكوارتز أيضا في الأغراض التي يعرض فيها لدرجات حرارة عالية ، حيث أنه صامد للحرارة وغير حساس للتغيرات في درجة الحرارة .

الميكال : ويمكن شطرها بسهولة إلى ألواح صغيرة . وتصلح كمادة عازلة في المواسعات .  
وتستخدم ألواح الميكال المغراة بعضها ببعض بمحلول الشيلاك ( الميكاتيت ) في المبدلات ومقاومات التسخين ، اللازمة لمكثفات والمسخنات الكهربائية .

الاسبتوس : يستخدم أساسا في المسخنات الكهربائية . وهو مادة ليفية تدخل في إنتاج النسيج العازل . وتشتمل هذه الأنسجة أيضا ، على مواد ليفية أخرى تقلل من استقرارها الحراري كمنتج نهائي .

القلفونية : وتنتج من الراتنج الطبيعي ، وتستخدم كمادة عزل إضافية للزيوت المعدنية ، أو تستخدم لتشريب الورق العازل المستخدم في إنتاج الكبلات .



**الشيلاك :** وهو مادة راتنجية ، بدأ إنتاجه في الهند ويستخدم بكثرة كمادة عازلة للفيقات المكنات الكهربائية .

**المطاط :** يصنع من الكاوتشوك الطبيعي . ومن الأنفع استخدامه فيما بين درجتي الحرارة  $- 30^{\circ}\text{C}$  ،  $+ 60^{\circ}\text{C}$  فقط . وهو حساس لمفعول الزيوت والبنزين . ويعتبر المطاط من المواد العازلة ذات الخصائص الكهربائية الجيدة . ويمكن تشكيله بسهولة .

**الصيني :** وينتج بأنواع متعددة كثيرة ، ويكون للصيني الصلد الذي يتكون من ٥٠ في المائة كاولين و ٢٥ في المائة كوارتز و ٢٥ في المائة فلسبار ، أهمية عملية في الهندسة الكهربائية . وتصنع منه عادة العوازل المستخدمة في الخطوط الهوائية لنقل القدرة الكهربائية للجهود العالية ، كما يصنع منه العوازل النفاذي للمحولات .

**الاستيتيت :** ( ويعرف أيضا بالحجر الصابوني ) ويشبه الصيني . ومتانته أعلى منه وخواصه الكهربائية أفضل منه . ويلزم لإنتاج ملفات الترددات العالية .

**الزجاج :** يندر استخدامه في الهندسة الكهربائية ، نظرا لمقاومته المنخفضة لتغيرات درجة الحرارة . وقد تستخدم الخيوط الزجاجية في بعض الأحيان بدلا من الاستيتوس ، نظرا لاستقرارها الحراري العالي . ونستخدم العوازل الزجاجية أحيانا في البلاد التي تكون درجة حرارتها ثابتة نسبيا .

**الورق :** يستخدم في الهندسة الكهربائية إما غير مشرب في إنتاج كبلات الجهد المنخفض ، أو مشرب بالزيت أو البرافين لأغراض الجهد العالي .

**الورق المضغوط :** وهو ورق يعرض لضغط عالي أثناء تصنيعه . ويستخدم لعمل إطارات الملفات في المحولات الصغيرة ، وملء الفراغات في العضر الدوار أو العضو الساكن للمكنات الكهربائية .

**الورق المقوى :** أو ورق مكون من رقائق ، يصنع من طبقات من الورق تشرب براتنج وتعرض لضغط يصل إلى ٥٠٠ جوى ( كجم/سم<sup>٢</sup> ) عند درجة حرارة قدرها  $120^{\circ}\text{C}$  . ويوجد الورق المقوى بسبك يتراوح بين ٠.١ مم و ١.٥ مم .

**نسيج مكون من رقائق :** يصنع من طبقات من النسيج مشربة براتنج بطريقة تشابه تلك المستخدمة لإنتاج الورق المقوى . وتصنع من الحرير الصناعي أو الكتان أو القطن أو خيوط الزجاج . ويمكن الحصول عليه تجاريا بسبك فيما بين ٠.٥ مم و ٣.٠ مم . وخواصه الميكانيكية أحسن من خواص الورق المقوى .

**الأنسجة العازلة :** وتكون غالبا من شرائط القطن أو الحرير الصناعي بعرض بين ٥ مم و ٣٠ مم ، وتستخدم أحيانا مشربة بالزيت في رباط الكبلات والملفات المحصورة .

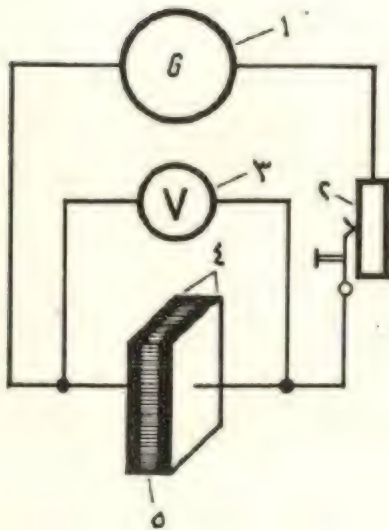


الزيوت العازلة : وتستخدم في الهندسة الكهربائية كمادة عازلة . وكوسيلة لتبديد الحرارة ، وتستخدم الزيوت المعدنية خاصة في هذه الأغراض .

اللدائن : وقد حلت محل كثير من المواد العازلة المدروسة ، وأصبحت تستخدم على نطاق واسع . وتنقسم اللدائن إلى مجموعتين مختلفتين تبعا لتصرفهما بالنسبة للحرارة وهما : لدائن حرارية وأخرى مصلدة حراريا thermoplastic & thermosetting plastic . ويمكن تليين اللدائن الحرارية مرة ثانية بالتسخين ، وتستخدم كشرائط أو أغلفة عازلة للموصلات . ومن خواص اللدائن المصلدة حراريا دوام صلابتها وجسوءتها بالتسخين ، وتستخدم في ألواح قواعد المكثفات ، وأغلفة المعدات ، وصناديق التوزيع والتحكم وخلافه .

#### ( د ) متانة الوسط الكهربائي العازل :

يعتمد استخدام المادة العازلة بدرجة كبيرة على متانة وسطها الكهربائي العازل ، ويعرف بالعلاقة بين الجهد المسلط وسمك المادة العازلة . والشكل ( ٦١ ) مثال لرسم الدائرة لتحديد متانة الوسط الكهربائي العازل لمواد عازلة .



شكل ٦١ : دائرة اختبار لتمثيل متانة الوسط الكهربائي العازل :

- ١ - مولد جهد عال .
- ٢ - مقاوم متغير .
- ٣ - فلطمتر .
- ٤ - لوح معدني .
- ٥ - عينة اختبار .

تربط قطعة من العازل المراد اختباره سمكها ١ مم بين لوحين معدنيين . ويضبط الجهد المسلط عليهما من مولد جهد عال بواسطة مقاوم متغير . ويقاس هذا الجهد بلفطمتر . وعند قيمة معينة للجهد ، يحدث توصيل كهربائي بين اللوحين المعدنيين على هيئة شرارة ، وتتحرق المادة العازلة . فإذا وضع مثلاً ، لوح من بلاستيك كلوريد عديد الفينيل (PVC) ، سمكه ١ مم بين هذين اللوحين فيلزم تسليط جهد قيمته حوالي ٩٥٠٠٠ فلت ( ٩٥ كيلو فلت ) عليهما حتى يتمكن التيار الكهربائي من إحداث شرارة خلال مادة البلاستيك .



ويبين الجدول التالي قائمة بمتانة الوسط الكهربائي العازل لبضع مواد عازلة :

المتانة الوسط الكهربائي العازل كيلوفلظ / مم	المواد العازلة
٣٥	كوارتز
٣٥-٢٥	ميكاف
٢٢- ٦	ورق مضغوط
١٢- ٨	ربت محولات

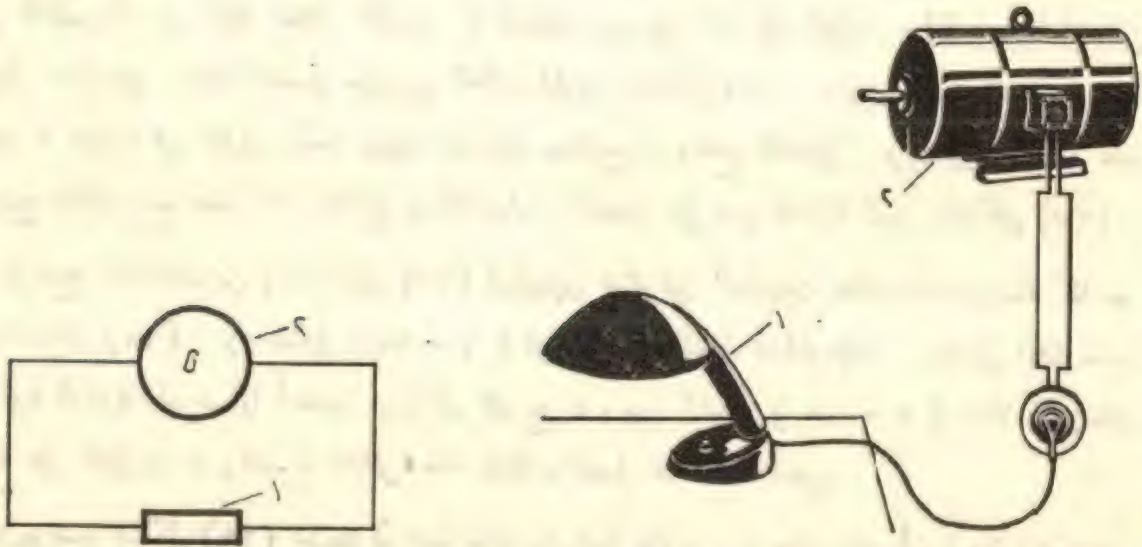
## الفصل السابع

### دوائر بسيطة وشبكات كهربائية

فيما يختص بإعطاء تعاريف أكثر دقة لبضعة مصطلحات متعلقة بالدوائر الكهربائية ، ذكرنا فيما سبق أن الأجهزة الكهربائية تسمى محولات طاقة ، حيث يعتمد أداؤها على تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة . ونعطي هنا نموذجاً لدوائر تشتمل على عدة محولات ، فمثلاً تتوهج عدة مصابيح كهربائية ، بينما تكون أجهزة لراديو والتليفزيون في حالة تشغيل . ويشغل مسخن ماء كهربائي ، بينما يقوم محرك ثلاجة كهربائية بإدارة كباس ، كل ذلك يحدث في نفس الطابق . ويمكن اعتبار كل هذه المحولات للطاقة مقاومات في دائرة معينة مقاومتها ( م ) .

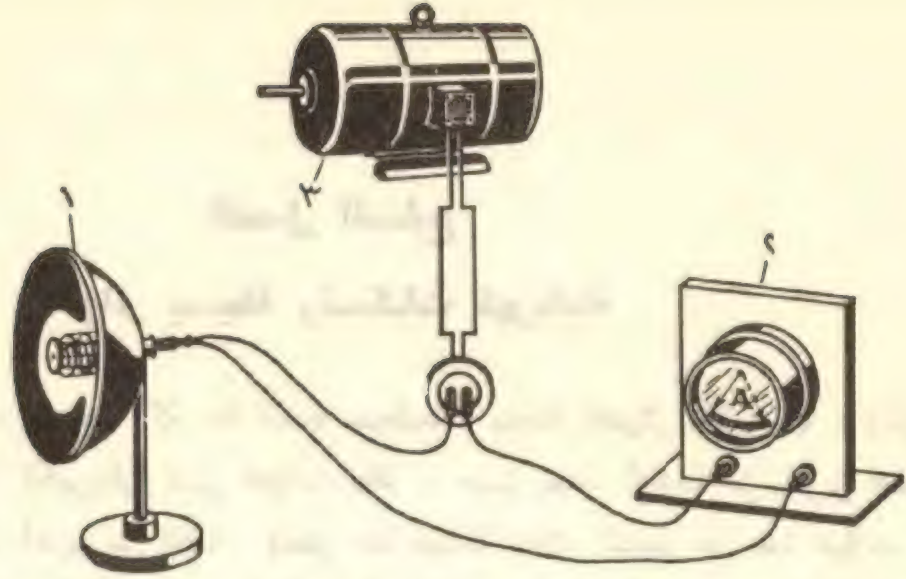
#### ١/٧ - الطرق المختلفة لتوصيل المقاومات :

يبين التمثيل التخطيطي بالشكل (٦٢) مسار التيار الكهربائي من مولد إلى مصباح كهربائي (أباجورة) ، ثم رجوعاً إلى المولد . وإذا اعتبرنا المصباح الكهربائي مقاوماً ، فإننا نحصل على رسم الدائرة الموضح بالشكل (٦٣) .

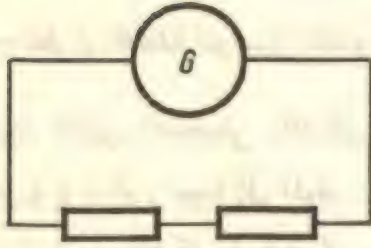


- شكل ٦٢ : تمثيل مبسط لترقيبة بها مولد ومصباح :  
 ١ - مصباح منضدة .  
 ٢ - مولد .
- شكل ٦٣ : رسم الدائرة للشكل (٦٢) .  
 ١ - مصباح منضدة ممثل بمقاوم .  
 ٢ - مولد .





شكل ٦٤ : تمثيل مبسط لترتيبة دائرة بها مولد وأميتور ومسخن بشكل قطع مكافئ .  
 ١ - مسخن بشكل قطع مكافئ . ٢ - أميتور . ٣ - مولد .



شكل ٦٥ : رسم الدائرة للشكل (٦٤) .

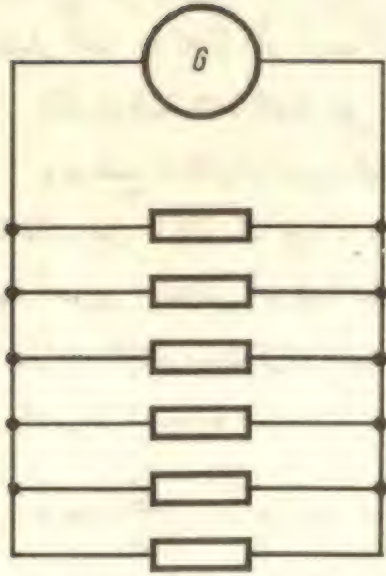
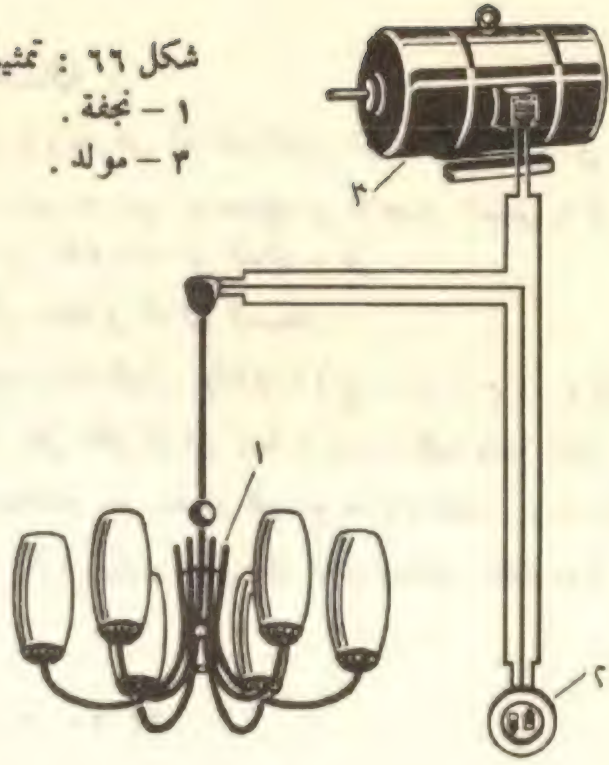
يبين الشكل (٦٤) تمثيلا تخطيطيا لترتيبة دائرة بها مسخن بشكل قطع مكافئ وأميتور ، يمر التيار الكهربائي من المولد خلال الأميتور ثم المسخن ويرجع ثانيا إلى المولد . وإذا اعتبرنا المسخن والأميتور مقاومين ، فإننا نحصل على رسم الدائرة المبين بالشكل (٦٥) . ويبين الشكل (٦٦) ترتيبا أخرى ، عبارة عن تمثيل مبسط لنجفة بها ستة مصابيح في وضع التشغيل . وبتمثيل كل من هذه المصابيح بمقاوم مع عدم أخذ المفتاح في الاعتبار ، نحصل على رسم الدائرة المبين بالشكل (٦٧) .

توضح الأشكال من (٦٤) إلى (٦٧) ترتيبين لدائرتين أساسيتين بمقاومات موصلة كما هو مبين بالشكل (٦٨) . وبالشكل (١ - ٧٨) توصيل على التوالي للمقاومات . وتعطى المقاومات في ترتيب الدائرة هذه مسارا أحاديا دون أى تفريع ، ويبين الشكل (٢ - ٦٨) مثالا لمقاومات موصلة على التوازي ، وتتفرع الدائرة عند نقطة وتتصل عند نقطة أخرى .

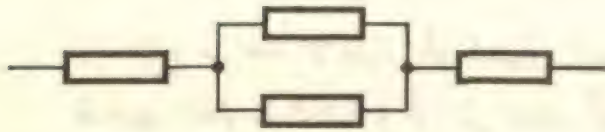
ويوضح الشكل (٦٩) خليطا لترتيبة توالى وترتيبة تولزى ، ويطلق عليه أيضا دائرة مختلطة . إذا كانت جميع المقاومات موصلة على التوالى في دائرة معينة ، فيطلق على هذه الدائرة « دائرة بسيطة » ، بينما يطلق على الدائرة التى توصل بها المقاومات على التوازي ، أو على التوازي والتوالى معا « شبكية » . وفيما يلي شرح لحالات الجهد والتيار والمقاومة في الدوائر البسيطة والشبكية :



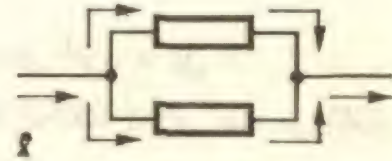
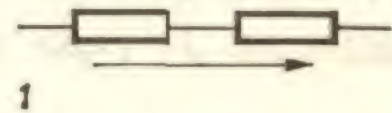
شكل ٦٦ : تمثيل مبسط لترتيبة لها مولد ونجفة :  
 ١ - نجفة .  
 ٢ - مفتاح كهربائي .  
 ٣ - مولد .



شكل ٦٧ : رسم الدائرة للشكل ( ٦٦ ) .



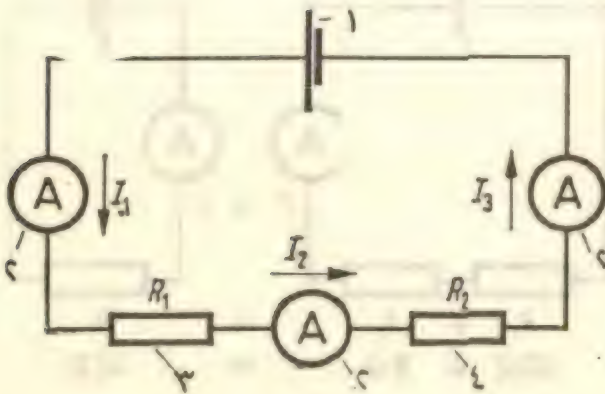
شكل ٦٩ : شبكية بها خليط لترتيبة  
 توصيل قواى وتوازى معا :



شكل ٦٨ : مقاومات موصلة على التوالى  
 ومقاومات موصلة على التوازى :  
 ١ - دائرة توالى . ٢ - دائرة توازى .

٢/٧ - الدوائر البسيطة :

يبين الشكل (٧٠) رسماً لدائرة بسيطة ، بها مقاومان مرصلان على التوالى ،  $\Omega 30 = 12$  ،  $\Omega 10 = 22$  . ووضع بالدائرة ثلاثة أميترات عند ثلاثة مواضع . وقد استعملت هذه الاميترات لتبين شدة التيار  $I_1$  ،  $I_2$  ،  $I_3$  ، عند هذه المواضع الثلاث فى الدائرة.



شكل ٧٠ : دائرة بسيطة تشمل مقاومتين :  
 ١ - مصدر للجهد .  
 ٢ - أميتر .  
 ٣ - مقاومة  $12 \Omega$  .  
 ٤ - مقاومة  $22 \Omega$  .



بتشغيل هذه الترتيبة نلاحظ الظاهرة التالية :

« تبين جميع الأميترات نفس القيمة » ( وبفرض أن شدة التيار الميينة بكل أميتر في هذه الحالة هي ٠,٣ أمبير ) . فينتج أن  $I_1 = I_2 = I_3$  . ونستنتج من الاختبار السابق ، أو أى اختبار آخر به ثلاثة أو أربعة أو أى عدد من المقاومات على التوالي ما يلي :

تكون قيمة شدة التيار هي نفسها عند أى نقطة في الدائرة البسيطة .

ويوضح « قانون أوم » العلاقة بين الجهد وشدة التيار والمقاومة ( ج ، ت ، م ) . ولإيجاد العلاقات بين المقاومان  $R_1$  ،  $R_2$  الموصلان على التوالي من جهة ، وبين الجهد وشدة التيار من جهة أخرى . نفرض أن قيمة الجهد المقاس بفلطمر عبر مصدر للجهد  $E = 12$  فلت ، وحيث أن الأميترات الثلاثة بينت قراءة لشدة التيار قيمتها ٠,٣ أمبير . وعلى ذلك يمكن حساب المقاومة ( م ) من الصيغة التالية :

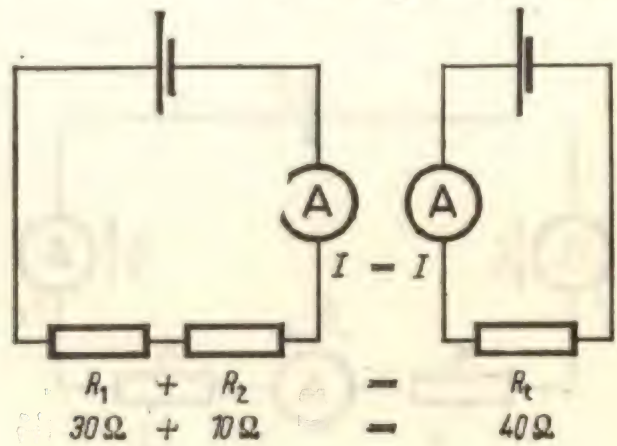
$$R = \frac{E}{I} = \frac{12}{0,3} = 40 \Omega$$

وهذا يعنى أن محصلة المقاومين نتجت من حاصل جمعهما ، حيث أنه ذكر أن  $R = 40 \Omega$  ،  $R_1 = 10 \Omega$  . وإذا أطلقنا على القيمة  $40 \Omega$  « المقاومة الكلية » أو « المقاومة المكافئة » لهذه الدائرة ، يمكننا كتابة  $R = R_1 + R_2$

ونستنتج من هذا الاختبار وأى اختبار آخر بمقاومات على التوالي ما يلي :

تساوى المقاومة الكلية ( أو التى تعرف أيضا بالمقاومة المكافئة ) لأى عدد من المقاومات الموصلة على التوالي ، حاصل جمع المقاومات الفردية لهذه المقاومات . وكذلك أيضا :

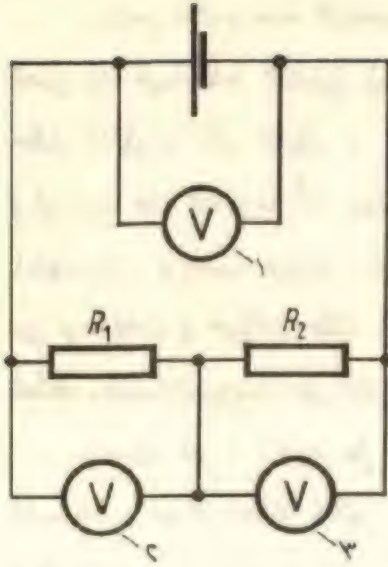
تكون قيمة المقاومة المكافئة للمقاومات الموصلة على التوالي دائما أعلى من أعلى مقاومة على حدة في هذه المقاومات . ويستخدم الشكل (٧١) لبيان حالات ترتيبات دوائر التوالي . ويلى ذلك الخطوة الثانية لإيجاد اشتراطات الجهد في الدائرة البسيطة . وبين الشكل (٧٢) الدائرة السابقة وبها ثلاثة فلتطمرات موصلة معا .



شكل ٧١ : يوضح العلاقة بين كل مقاومة على حدة والمقاومة المكافئة لترتيبة توالى :



شكل ٧٢ : دائرة اختبار تستعمل لقياس فروق الجهد في دائرة بسيطة :



- ١ - فللمتر ( ١ ) .  
٢ - فللمتر ( ٢ ) .  
٣ - فللمتر ( ٣ ) .

عند تغذية ترتيبية الدائرة ، تبين الفللمترات الثلاثة القراءات المختلفة التالية :

الفللمتر ( ١ )	١٢ فلت
الفللمتر ( ٢ )	٩ فلت
الفللمتر ( ٣ )	٣ فلت

وإذا رمزنا للجهد عبر المصدر بالرمز ج ، وكل من الجهدين الجزئيين على المقاومين ١م ، ٢م بالرمزين ج ١ ، ج ٢ ، يمكننا كتابة :

$$ج = ج ١ + ج ٢$$

نظراً لأن ١٢ فلت = ٩ فلت + ٣ فلت .

وبإجراء أى عدد من التجارب لأى عدد من المقاومات الموصلة على التوالي ، نحصل على النتيجة التالية :

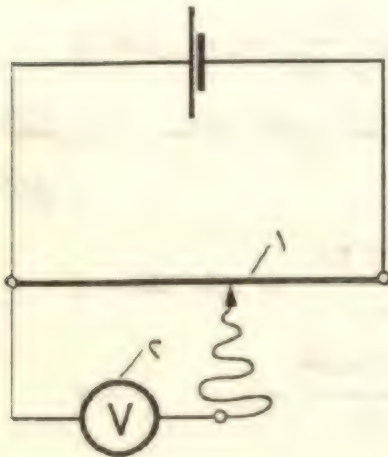
الجهد الإجمالى فى أى دائرة بسيطة يساوى مجموع الجهود الجزئية فى هذه الدائرة .

( ١ ) هبوط الجهد وفقد الجهد :

فى الشكل ( ٧٣-١ ) استبدل المقاومان ٣٠ Ω ، ١٠ Ω بقضيب من سلك مقاومته ٤٠ Ω ، ويوصل فللمتر بالدائرة ، بطريقة يمكن بها عمل تلامس عند أى نقطة على سلك المقاومة بأحد طرفي وصلي الفللمتر ، بينما يثبت الطرف الآخر عند نقطة اتصال بداية سلك المقاومة بالدائرة .

عند توصيل طرف وصلة الفللمتر المتحركة بمنتصف سلك المقاومة ، يبين الفللمتر قراءة قيمتها ج = ٦ فلت . ويمكن تحديد هذه القيمة أيضاً كما يلي :

$$ج = \frac{٤٠ \times ٠,٣}{٢} = ٦ \text{ فلت} , \quad ج = \frac{٤٠ \times ٠,٣}{٢} = ٦ \text{ فلت}$$



شكل ٧٣ : هذا الشكل يساعد فى توضيح هبوط الجهد :

- ١ - سلك مقاومته م = ٤٠ Ω .  
٢ - فللمتر بوصلة متحركة .

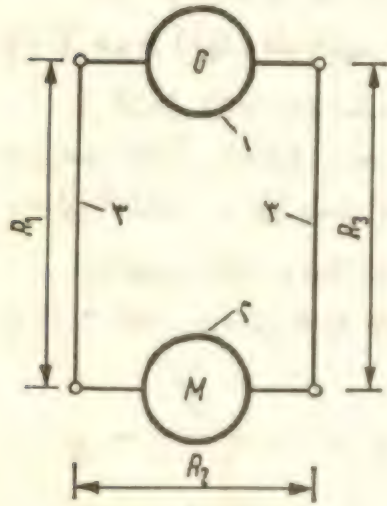


وبتحريك وصلة الفلطمتر على سلك المقاومة إلى اليمين ، تزداد قراءة الفلطمتر تدريجيا حتى تصل إلى قيمة فلط التشغيل لمصدر الجهد ، أى ج = ١٢ فلط . وبتحريك وصلة الفلطمتر على سلك المقاومة إلى الشمال ، تنقص قراءة الفلطمتر تدريجيا إلى أن يبين الفلطمتر ج = صفر . وتوضح هذه التجربة أن جهد الدائرة يهبط تدريجيا على أى مقاوم فيها ، ويطلق على ذلك « هبوط الجهد » . ويلعب هبوط الجهد دورا هاما في الهندسة الكهربائية . فتكون أى ترتيبية كهربائية من وصلات ومحولات طاقة ( بإهمال مصدر الجهد ) . وعمليا تكون هذه الوصلات ومحولات الطاقة مقاومات موصلة على التوالي ، يهبط عبرها الجهد أيضا . ويوضح الشكل (٧٤) هذه الحقيقة . يتحول هبوط الجهد على الوصلتين ( ١٢ ، ٣٣ ) إلى حرارة ، أى يفقد بالنسبة لكل من المستهلك ومولد الطاقة الكهربائية . وعلى هذا يطلق على هبوط الجهد في وصلات نظام كهربائى « فقد الجهد » . وتحدد محطات القوى الكهربائية « هبوط الجهد » وبالتالي « فقد الجهد » لأى نظام كهربائى معين . وتحدد قيمة « فقد الجهد » تماما في نطاق الحدود المطلوبة بتحديد مساحة المقطع المستعرض المناسب للمحيط .

مثال :

محول طاقة ، تيار دخله ت = ١٢ أميتر ، موصل يأخذ رئيسى تيار مستمر ، جهد تشغيله ج = ٢٢٠ فلط ، عند نقطة تبعد ١٢٥ مترا عن وصلة المأخذ ، ولا يتعدى هبوط الجهد المسموح به ٢ في المائة من جهد التشغيل . ويستخدم النحاس لمادة توصيل . فما مساحة المقطع المستعرض للمنط المطلوب تركيبه ؟

المعطيات :



$$ج = ٢٢٠ \text{ فلط .}$$

فقد الجهد ٢ في المائة

$$ت = ١٢ \text{ أميتر}$$

$$ل = ٢ \times ١٢٥ \text{ متر}$$

$$\chi \text{ نحاس} = ٥٦ \frac{\Omega}{\text{مم}^2}$$

المطلوب : مساحة المقطع المستعرض ( ج ) للسلك .

الحل :

شكل ٧٤ : أسلاك ومحولات تكون مقاومات في الدائرة :

١ - مصدر للجهد ( مولد ) .

٢ - محرك طاقة ( محرك كهربائى ) .

$$١ - \text{فقد الجهد} = \frac{٢ \times ٢٢٠}{١٠٠} = ٤,٤ \text{ فلط}$$

$$٢ - \frac{\text{فقد الجهد}}{ت} =$$

$$\Omega \ 0,367 = \frac{4,4}{12} = 2$$

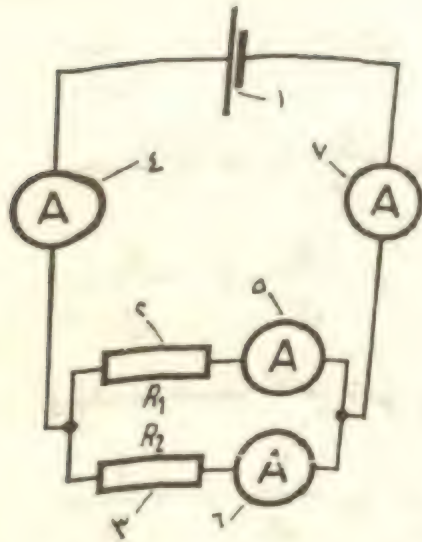
$$\frac{L}{2 \times \lambda} = \text{المساحة (ج)}$$

$$\frac{125 \times 2}{0,367 \times 56} =$$

$$12 \text{ م}$$

جـ  
يكنى لهذا الخط مساحة مقطع مقدارها ١٢ م<sup>٢</sup>

٣/٧ - الشبكيات :  
يبين الشكل (٧٥) مثالا لرسم الدائرة لشبكية مكونة من مقاومين ١٢ = ٣٠  $\Omega$  ،  
٢٢ = ١٠  $\Omega$  موصلين على التوازي . ويدخل في الدائرة أربع أميترات .



- شكل ٧٥ : شبكة بمقاومين :
- ١ - مصدر للجهد .
  - ٢ - مقاوم ١٢
  - ٣ - مقاوم ٢٢
  - ٤ - أميتر ( ١ )
  - ٥ - أميتر ( ٢ )
  - ٦ - أميتر ( ٣ )
  - ٧ - أميتر ( ٤ )

نلاحظ عند تشغيل هذه الترتيبة ما يلي : تبين الأميترات  
قيا مختلفة طبقا لما سبق شرحه في الدائرة البسيطة . فبين  
الأميتر ( ١ ) ، والأميتر ( ٤ ) ١,٦ أمبير ، بينما يبين  
الأميتر ( ٢ ) ٠,٤ أمبير والأميتر ( ٣ ) ١,٢ أمبير .  
ويجمع قيمتي شدة التيار للفرعين ١ ، ٢ اللتان تمران خلال المقاومان ١٢ ، ٢٢ نحصل  
على شدة التيار الإجمالية ت ج المبينة بالأميتر ( ١ ) والأميتر ( ٤ ) قبل وبعد التفريع . ونوجد  
قيمة شدة التيار ت ١ ، ت ٢ في كل من الفرعين في الدائرة عند جهد قدره ج = ١٢ فلت كما يلي :

$$ت ١ = \frac{ج}{12} = ١ \text{ ت} ، \frac{12 \text{ فلت}}{\Omega \ 30} = ١ \text{ ت} ، ت ١ = ٠,٤ \text{ أمبير}$$

$$ت ٢ = \frac{ج}{22} = ٢ \text{ ت} ، \frac{12}{10} = ٢ \text{ ت} ، ت ٢ = ١,٢ \text{ أمبير}$$

وبذلك يمكن كتابة :

$$ت = ت ١ + ت ٢$$

جـ  
وبإجراء عدة قياسات على العديد من مقاومات التوازي نحصل على نفس النتيجة التالية :



التيار الإجمالي في الشبكية التي يمر بها عدة مقاومات موصلة على التوازي يساوي مجموع التيارات المارة في فروع الدائرة .

ويمكن تحديد المقاومة المكافئة لمقاومين أو أكثر موصولين على التوازي . فنحدد أولا المقاومة المكافئة  $R_K$  للمثال السابق طبقا للشكل ( ٧٥ ) . ويمكن تحديد  $R_K$  بسهولة جدا في حالة وجود أجهزة قياس :

$$R_K = \frac{U}{I} = \frac{U}{\frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

ويمكن تعيين قيمة المقاومة المكافئة إذا عرفنا قيمة كل مقاومة على حدة . ونبدأ بالصيغة التالية :

$$\frac{1}{R_K} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\text{وحيث أن } \frac{1}{R_K} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ ينتج أن :}$$

$$\frac{1}{R_K} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_1}$$

وبقسمة الصيغة الأخيرة على  $R_1$  ينتج :

$$\frac{1}{R_K} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_1}$$

وهذا يعني :

مقلوب المقاومة المكافئة لعدة مقاومات موصلة على التوازي يساوي مجموع مقلوب مقاومة كل مقاوم على حدة .

وتطبيقا على المثال السابق ينتج من هذا ما يلي :

$$\frac{1}{R_K} + \frac{1}{30} = \frac{1}{10}$$

$$\frac{4}{30} = \frac{2}{30} + \frac{1}{30} + \frac{1}{R_K}$$

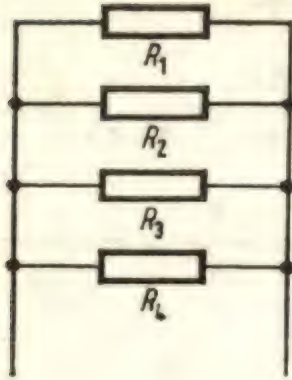
ومن مقلوب هذه الصيغة ( برفع الصيغة للأس - ١ ) ينتج :

$$\frac{\Omega \ ٣٠}{٤} = \text{أك}$$

$$\Omega \ ٧,٥ = \text{أك}$$

وهذه هي نفس النتيجة التي تم الحصول عليها من الحسابات المبينة على الجهد وشدة التيار .

مثال :



المطلوب إيجاد المقاومة المكافئة  $R_{\text{أك}}$  طبقاً للشكل ( ٧٦ )

$$\frac{1}{١٠٠} + \frac{1}{٤٠} + \frac{1}{٥٠} + \frac{1}{٢٥} = \frac{1}{\text{أك}}$$

$$\frac{٢}{٢٠٠} + \frac{٥}{٢٠٠} + \frac{٤}{٢٠٠} + \frac{٨}{٢٠٠} = \frac{1}{\text{أك}}$$

$$\frac{١٩}{٢٠٠} = \frac{1}{\text{أك}}$$

$$\frac{٢٠٠}{١٩} = \text{أك}$$

$$\Omega \ ١٠,٥٣ = \text{أك}$$

شكل ٧٦ : أربع مقاومات  
موصلة على التوازي :

$$. \Omega \ ٢٥ = ١م$$

$$. \Omega \ ٥٠ = ٢م$$

$$. \Omega \ ٤٠ = ٣م$$

$$. \Omega \ ١٠٠ = ٤م$$

وإذا أخذنا في الاعتبار حالات الجهد في الشبكيات ذات المقاومات الموصلة على التوازي ، نجد أن نفس الجهد يكون مسلطاً على كل فرع به مقاوم .

يسلط نفس الجهد على كل فرع به مقاوم في أي شبكية بها مقاومات موصلة على التوازي .

يستخدم الشكل ( ٧٧ ) لإيضاح حالات المقاومة في شبكية بها مقاومات موصلة على التوازي والتوالي .

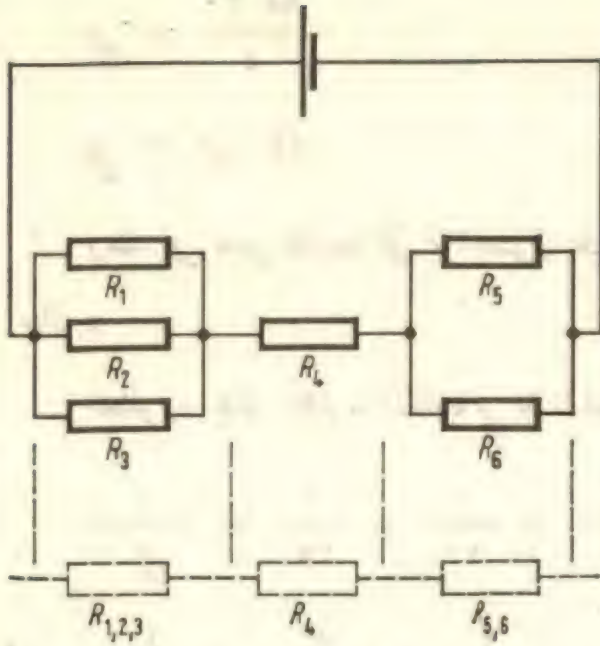
فإذا أردنا إيجاد قيمة المقاومة المكافئة  $R_{\text{أك}}$  لهذه الشبكية ، نفرض أن الدائرة تتكون من ثلاث

مقاومات متصلة على التوالي ، يمثل إثنان منها المقاومة المكافئة لتوصيلتي توازي . ويوضح هذا الغرض بالمقاومات المرسومة بالخطوط المتقطعة بالشكل ( ٧٧ ) . وعلى هذا يمكن كتابة :

$$\text{أك} = ١م + ٢م + ٣م + ٤م + ٥م$$



ثم توجد المقاومة المكافئة بالطريقة التالية :



$$\frac{1}{20} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} = \frac{1}{3.62,12}$$

$$\frac{1}{20} + \frac{5}{20} + \frac{4}{20} =$$

$$\frac{10}{20} =$$

$$\Omega 2 = \frac{20}{10} = 3.62,12 \therefore$$

$$\frac{2}{8} = \frac{1}{8} + \frac{1}{8} = \frac{1}{6,50}$$

$$\Omega 4 = \frac{8}{2} = 6,50$$

شكل ٧٧ : شبكة بها مقاومات موصلة على التوازي والتوالي :

$$\Omega 50 = 4م$$

$$\Omega 8 = 5م$$

$$\Omega 8 = 6م$$

$$\Omega 4 = 12م$$

$$\Omega 4 = 2م$$

$$\Omega 20 = 3م$$

وبالتعويض بالقيم التي تم إيجادها نحصل على ما يلي :

$$4 + 50 + 2 = 56م$$

$$\Omega 56 = 56م$$

المقاومة المكافئة لترتيبة هذه الدائرة هي  $\Omega 56$  وبإلقاء نظرة فاحصة على الأمثلة السابقة الخاصة بمقاومات التوازي ، نحصل على النتيجة التالية :  
تكون قيمة المقاومة المكافئة لأي ترتيبية مقاومات موصلة على التوازي ، أقل دائماً من مقاومة أصغر مقاوم على حدة بها .

( ١ ) إيجاد قيمة  $\Omega$  للمقاومات الموصلة على التوازي في حالات خاصة :

في ختام مناقشة الدوائر البسيطة والشبكيات الكهربائية تعطى طريقتان تفيدان في إيجاد قيمة المقاومات المكافئة لعدة مقاومات لها نفس المقاومة وموصلة على التوازي :  
مقاومان على التوازي :

$$\text{يعاد ترتيب الصيغة } \frac{1}{2م} + \frac{1}{12م} = \frac{1}{\Omega م} \text{ بعد إيجاد المعامل المشترك في المقام ،}$$

بهذه الكيفية :

$$\frac{22}{22 \times 12} + \frac{12}{22 \times 12} = \frac{1}{\text{ك}}$$

$$\frac{22 + 12}{22 \times 12} = \frac{1}{\text{ك}}$$

$$\frac{22 \times 12}{22 + 12} = \text{ك}$$

ولتأكد من ذلك نعوض عن المقاومين ١٢ ، ٢٢ بقيمتها ١٢ = ٣٠ ، ٢٢ = ١٠ ،  $\Omega$  فنحصل على ما يلي :

$$\Omega_{٧,٥} = \frac{300}{40} = \frac{10 \times 30}{10 + 20} = \text{ك}$$

أي عدد من المقاومات لها نفس المقاومة وموصلة على التوازي :

تشمل الشبكية المبينة في الشكل ( ٧٧ ) ترتيباً لمقاومين لهما نفس المقاومة وموصلين على التوازي ، وهما ٥ ، ٦ ، وقيمة كل منهما ٨  $\Omega$  . وقد أوجدنا قيمة المقاومة المكافئة لهذين المقاومين بنفس الطريقة الرياضية المستخدمة في إيجاد المقاومة المكافئة م ١ ، ٢ ، ٣ وعلى أي الأحوال ، يمكن استخدام الطريقة السابقة لإيجاد مقاومتين على التوازي :

$$\frac{8 \times 8}{8 + 8} = \text{ك}$$

$$\Omega_{٤} = \frac{64}{16} = \text{ك}$$

ونعطي هنا طريقة أبسط كما يلي :

$$\frac{\text{قيمة المقاوم على حدة ( أوم )}}{\text{( عدد المقاومات الموصلة على التوازي ) العدد}} = \text{ك}$$

$$\Omega_{٤} = \frac{8}{2} = \text{ك}$$

وإذا وصل ، على سبيل المثال ، ٧ مقاومات على التوازي وقيمة كل منها ٣,٥  $\Omega$

$$\Omega_{٠,٥} = \frac{3,5}{7} = \text{ك}$$



(ب) مقارنة بين دوائر التوالي والتوازي :

دائرة توالى

$$\text{شدة التيار } I = I_1 = I_2 = \dots$$

$$\text{الجهود } V = V_1 + V_2 + \dots$$

$$\text{المقاومة } R = R_1 + R_2 + \dots$$

دائرة توازى

$$I = I_1 + I_2 + \dots$$

$$V = V_1 = V_2 = \dots$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

## الفصل الثامن

### الشغل والقدرة والكفاءة الكهربائية

٨ / ١ ملاحظات عامة على الشغل والقدرة :

يعرف الشغل بمعناه الشامل ، بأنه استنفاد للطاقة في غرض من الأغراض . فالشخص الذي يحمل جوالا من الحبوب من مخزن إلى عربة نقل ، يبذل شغلا . ولتقل هذا الجوال تلزم قوة معينة - وتقطع مسافة معينة . وفيزيائيا ، فقد بذل شغل ميكانيكى ( ش ) يساوى حاصل ضرب القدرة ( ق ) في المسافة ( ف ) ، إذا كانا في نفس الاتجاه ، وعليه فإن :

$$\text{ش} = \text{ق} \times \text{ف}$$

ويمكن تفهم المقصود بالقدرة إذا أخذنا في الاعتبار الزمن الذى يبذل خلاله الشغل . فمثلا يبذل شخص يحمل ٢٠ جوالا من الحبوب من مخزن إلى عربة نقل خلال ساعة واحدة شغلا أكثر من شخص يحمل ١٥ جوالا فقط من الحبوب لنفس المسافة وفي نفس الزمن . وفيزيائيا ، فقد نتجت عن ذلك قدرة ميكانيكية (قد) وتساوى حاصل ضرب القوة (ق) في المسافة (ف) مقسوما على الزمن ( ز ) أو الشغل مقسوما على الزمن ، وعليه فإن :

$$\text{قد} = \frac{\text{ق} \times \text{ف}}{\text{ز}} = \frac{\text{ش}}{\text{ز}}$$

وسوف نتناول فيما يلى الشغل الكهربائى والقدرة الكهربائية .

### ٨ / ٢ - الشغل الكهربائى :

يساعد الشكلان ( ٧٨ ) ، ( ٧٩ ) في شرح العلاقات بين الجهد وشدة التيار والزمن . ومعرفة هذه الكميات لازمة لتحديد الشغل الكهربائى .

يبين الشكل ( ٧٨ ) رسم الدائرة لترتيبة مكونة من عداد كهربائى ( عداد واط ساعة ) وأميتر ، ومحول طاقة ( في هذه الحالة مصباح متوهج ) .

عند تشغيل هذه الترتيبة ، فسوف يبين العداد ( لا نحتاج حاليا إلى شرح طريقة عمله ) الشغل الكهربائى المبذول ، وذلك بواسطة نبيطة عد ميكانيكية . وتبقى قراءة الأميتر ثابتة خلال هذا الزمن . و بمقارنة قراءة العداد بعد تشغيل ساعة بقراءته بعد تشغيل نصف ساعة نجد أن القراءة أصبحت الضعف .

ونحصل على نفس النتيجة بمقارنة قراءة العداد بعد تشغيل ساعتين بقراءته بعد ساعة تشغيل .

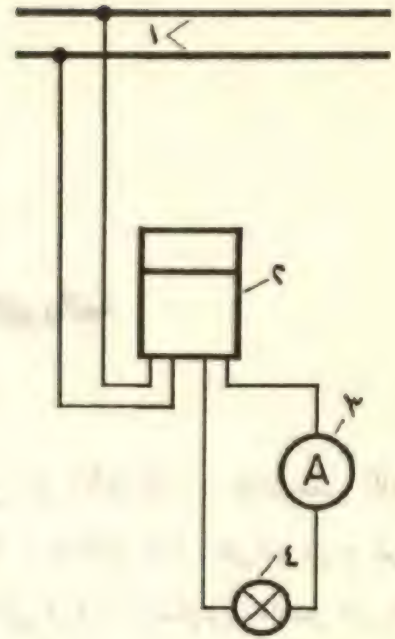


شكل ٧٩ : نفس ترتيبية الشكل (٧٨) مع إضافة مصباح متوهج آخر وله نفس معدل المصباح الأول ويوصل معه على التوازي .



شكل ٧٨ : ترتيبية اختبار لتحديد الشغل الكهربائي :

- ١ - مأخذ رئيسي بجهد ثابت .
- ٢ - عداد كهرباء .
- ٣ - أميتر .
- ٤ - مصباح .



وحيث أن الجهد وشدة التيار ثابتان ، فإنه يمكننا الحصول على النتيجة التالية :  
يتناسب الشغل الكهربائي تناسباً طردياً مع زمن التشغيل ، وذلك في حالة ثبوت الجهد وشدة التيار .

ش  $\alpha$  ز ( ج ، ت ثابتان ) .

يوضح الجدول (٧٩) نفس الترتيبية المبينة في الشكل (٧٨) ، ولكن يوصل بها على التوازي مصباحان متوهجان بدلاً من مصباح واحد ويكون لهما نفس مقننه .

وبتشغيل هذه الترتيبية ، نجد أن قراءة العداد بعد نفس زمن التشغيل للاختبار السابق ، تصبح ضعف القراءة التي حصلنا عليها في حالة مصباح واحد . وحيث أن الجهد وزمن التشغيل ثابتان ، فإنه يمكننا الحصول على النتيجة التالية :

يتناسب الشغل الكهربائي مع شدة التيار تناسباً طردياً ، في حالة ثبوت الجهد والزمن .  
ش  $\alpha$  ت ( ج ، ز ثابتان ) .

وبتطبيق العلاقة بين الشغل الكهربائي والجهد نحصل على النتيجة التالية :  
يتناسب الشغل الكهربائي مع الجهد تناسباً طردياً في حالة ثبوت قيمة شدة التيار وزمن التشغيل .

ش  $\alpha$  ج ( ت ، ز ثابتان ) .

وبإدماج النتائج السابقة ، نحصل على الخلاصة التالية :  
الشغل الكهربائي ( في دائرة التيار المستمر ) يساوي حاصل ضرب الجهد وشدة التيار والزمن .

$$\text{ش} = \text{ج} \times \text{ت} \times \text{ز} .$$

ويمكن تفسير قصر هذه القاعدة على دوائر التيار المستمر بعد دراسة مفهوم التيار المتردد .

### ٣/٨ - القدرة الكهربائية :

هناك علاقة بين الشغل والزمن ، كما سبق شرحه عند إيجاد قيمة القدرة الميكانيكية . وينطبق ذلك أيضا على القدرة الكهربائية ، وعليه فإن :

$$\frac{\text{الشغل الكهربائي}}{\text{الزمن}} = \text{القدرة الكهربائية}$$

$$\frac{\text{ج} \times \text{ت} \times \text{ز}}{\text{ز}} = \text{قد}$$

$$\text{وحيث أن خارج قسمة } \frac{\text{ز}}{\text{ز}} = ١ \text{ ، ينتج أن :}$$

$$\text{القدرة الكهربائية} = \text{الجهد} \times \text{شدة التيار}$$

$$\text{قد} = \text{ج} \times \text{ت}$$

القدرة الكهربائية ، في دائرة التيار المستمر ، تساوي حاصل ضرب الجهد في شدة التيار .  
ووحدة القدرة الكهربائية هي فلت - أمبير . ولقد أطلق عليها المصطلح واط تكريما للعالم  
الانجليزي جيمس واط ( ١٧٣٦ - ١٨١٩ ) .

### وحدات الشغل الكهربائي والقدرة الكهربائية :

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
الشغل	ش	واط ثانية	و.ث
القدرة	قد	واط	واط

وتستخدم وحدات مشتقة من هذه الوحدات الأساسية مثل :

كيلوواط ساعة (ك.و.س) .

$$١ \text{ ك.و.س} = ٣٦٠٠٠٠٠ \text{ واط ثانية (و.ث) .}$$

وتستخدم عادة الوحدات التالية للقدرة الكهربائية :

$$١ \text{ كيلوواط (ك.و)} = ١٠٠٠ \text{ واط}$$

$$١ \text{ ميغاواط} = ١٠٠٠٠٠٠ \text{ واط}$$

مثال :

ما زمن تشغيل مصباح إشعاعي ليذلل شغلا قيمته ١ كيلوواط ساعة ، إذا كان دخل قدرته ٢٥٠ واط ؟



المعطيات :

$$\text{قد} = 250 \text{ واط}$$

$$\text{ش} = 1 \text{ كيلوواط ساعة}$$

المطلوب : الزمن ز

الحل :

$$\text{قد} = \frac{\text{ش}}{\text{ز}} , \text{ ز} = \frac{\text{ش}}{\text{قد}}$$

$$\text{ز} = \frac{1 \text{ ك و س}}{250 \text{ واط}} = \frac{1000 \text{ واط س}}{250 \text{ واط}} = 4 \text{ ساعة}$$

يمكن تشغيل المصباح الاشعاعى لفترة قدرها 4 ساعات لكى يبذل شغلا قدره 1 كيلوواط ساعة

مثال :

يراد تركيب جهاز طهو كهربائى دخل قدرته 2000 واط فى منزل . يغذى هذا المنزل من دائرة مأخذها الرئيسى 220 فلت بمصهر وقاية 10 أمبير . وقد تم تركيب المعدات الكهربائية المنزلية العادية ، مثل المسخن وجهاز الراديو والتليفزيون وخلافه . فهل يمكن توصيل جهاز الطهو الكهربائى هذا دون اتخاذ أى تدبير آخر ؟

المعطيات :

$$\text{قد} = 2000 \text{ واط}$$

$$\text{ج} = 220 \text{ فلت}$$

المطلوب شدة التيار ت

الحل :

$$\text{قد} = \text{ج} \times \text{ت}$$

$$\text{ت} = \frac{\text{قد}}{\text{ج}}$$

$$\text{ت} = \frac{2000 \text{ واط}}{220 \text{ فلت}} = \frac{2000 \text{ فلت أمبير}}{220 \text{ فلت}} = 9 \text{ أمبير}$$

دخل التيار لهذا الجهاز حوالى 9 أمبير ، ونظرا لوجود أجهزة كهربائية أخرى إلى جانب جهاز الطهو، تشغل فى نفس الوقت، فتكون الدائرة محملة بحمل زائد، وينصهر المصهر نتيجة لهذا الحمل الزائد . لذا يحتاج جهاز الطهو إلى دائرة كهربائية أخرى ، بمصهر وقاية 10 أمبير .

يعبر عن كفاءة مكنة أو جهاز أو تركيبات كهربائية بنسبة الخرج النافع إلى الدخل الكل للقدرة . ويبدل المصممون والمتجرون أقصى جهد ممكن في جميع الفروع الهندسية ، في سبيل تصميم وبناء المكثات والأجهزة وغيرها ، لتحقيق اقتراب هذه النسبة من الواحد الصحيح أو مائة في المائة . وهذا يعنى أن المشتري يبحث دائماً عن مثل هذه المكنة أو الجهاز الذى يكون استهلاكه وفقد طاقته أصغر ما يمكن . ومثال ذلك : المصابيح الفلورية ذات الجهد المنخفض ، التى حلت محل المصابيح المتوهجة في كثير من المصانع والمكاتب . وهذا يرجع أيضاً إلى الكفاءة الضوئية العالية لها . وتتراوح هذه الكفاءة بين ٣ و ٣,٥ أضعاف كفاءة المصابيح المتوهجة ، التى لها نفس دخل القدرة ، ويرمز للكفاءة بالرمز  $\eta$  (ايتا) ، ويرمز لدخل القدرة بالرمز قدر وخرج القدرة بالرمز قدر خ وعليه .

$$\frac{\text{قدر خ}}{\text{قدر د}} = \eta$$

ويعبر عن الكفاءة بكسر عشرى ( فثلاً ٠,٩ ، ٠,٧ ، ٠,٦٢ ) ويبين خرج القدرة المتاحة بدلالة كسور من دخل القدرة . وإذا أريد التعبير عن الكفاءة كنسبة مئوية ، تجرى الطريقة التالية :

$$\eta = ٠,٥ = \frac{٥٠}{١٠٠} = ٥٠ \text{ في المائة} .$$

مثال :

وجد أن خرج القدرة لجهاز كهربائي هو ٤٠٠ واط . وبتوصيل أميتر بخط التغذية ، لوحظ أنه يبين شدة نيار قيمتها ٢,٢٨ أميتر ، وكان جهد المأخذ الرئيسى ٢٢٠ فلت . ما كفاءة هذا الجهاز ؟

المعطيات :

$$\text{قدر خ} = ٤٠٠ \text{ واط}$$

$$\text{ت} = ٢,٢٨ \text{ أميتر}$$

$$\text{ج} = ٢٢٠ \text{ فلت}$$

للطلوب :

الكفاءة  $\eta$



الحل :

$$\text{قد} = \text{ج} \times \text{ت} = \text{قد} \quad 2,28 \times 220 = \text{قد}$$

$$\text{قد} = 501,6 \text{ واط}$$

$$\eta = \frac{\text{قد} \text{ خ}}{\text{قد} \text{ د}} = \eta \quad \frac{400 \text{ واط}}{501,6} = \eta \quad \eta = 0,79$$

كفاءة هذا الجهاز هي ٠,٧٩

أي أن ٧٩ في المائة من دخل القدرة المستخدمة أمكن الاستفادة بها .

مثال :

تنص لوحة المقننات ( لوحة البيانات ) لجهاز كهربائي على أن كفاءته هي ٠,٨٥ ودخل قدرته ٢٥٠٠ واط ، ما خرج قدرته ؟

المعطيات :

$$\eta = 0,85 \text{ الكفاءة}$$

$$\text{قد} = 2500 \text{ واط}$$

المطلوب : قد خ

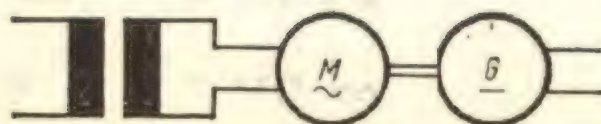
الحل :

$$\eta = \frac{\text{قد} \text{ خ}}{\text{قد} \text{ د}}$$

$$\text{قد} \text{ خ} = \eta \times \text{قد} \text{ د} = 2500 \times 0,85$$

$$\text{قد} \text{ خ} = 2115 \text{ واط}$$

خرج القدرة لهذا الجهاز هو ٢١١٥ واط



$$\eta = 0,93$$

$$\eta = 0,8$$

$$\eta = 0,72$$

رسم الدائرة للمسألة المطلوب حلها :

ويبين التحليل الموجز لتركيبات كهربائية تتكون من ثلاث وحدات ، مدى أهمية أخذ

الكفاءة في الاعتبار .

مثال :

يبين الشكل (٨٠) رسم الدائرة لتركيبات كهربائية مكونة من محول جهد عالي ، ومجموعة توليد كهربائية ، تشمل على محرك تيار متردد يدير مولد تيار مستمر ( وتستخدم مثل هذه التركيبات في اللحام والطلاء الكهربائي ) .

إذا كان دخل القدرة للمحول ٤,٥ كيلوواط . فما الكفاءة الإجمالية لهذه التركيبات ؟

المعطيات :

$$\text{قدر} = ٤,٥ \text{ كيلوواط}$$

$$\eta \text{ للمحول} = ٠,٩٣$$

$$\eta \text{ للمحرك الكهربائي} = ٠,٨$$

$$\eta \text{ للمولد الكهربائي} = ٠,٧٢$$

المطلوب :

$$\eta \text{ الكفاءة الإجمالية}$$

الحل :

يمكن أولاً حساب قدر للمحول ، ونعتبر هذه النتيجة قدر للمحرك الكهربائي . نحسب بعد ذلك قدر للمحرك على أساس دخل قدرته . ونعتبر ندخ للمحرك على أنها قدر للمولد الكهربائي ، ومنها يمكن حساب قدر للمولد . ويمكن ربط الأخيرة مع قدر للمحول . ونحصل على نفس النتيجة من حاصل ضرب كل القيم على حدة للكفاءة :

$$\eta = \eta \text{ للمحول} \times \eta \text{ للمحرك الكهربائي} \times \eta \text{ للمولد الكهربائي}$$

$$\eta = ٠,٩٣ \times ٠,٨ \times ٠,٧٢$$

$$\eta = ٠,٥٣$$

الكفاءة الكلية لهذه التركيبة ٠,٥٣ . وهذا يعني أن ٥٣ في المائة فقط من دخل قدرة المحول أمكن الحصول عليها كخرج قدرة للمولد . أى أنه أمكن استخدام حوالى ٢,٤ كيلوواط فقط من دخل قدرة قيمتها ٤,٥ كيلوواط .



## الفصل التاسع

### المغناطيسية ، والمغناطيسية الكهربائية

شرحنا في مقدمة هذا الكتاب التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي . ويستفاد بهذا التأثير في عدة نباتات وأجهزة ومكنات مغناطيسية كهربائية . فثلا ، تشغل جميع المكنات الدوارة على مبادئ المغناطيسية الكهربائية . ومن هذه المكنات المولدات والمحركات الكهربائية . عرف الإنسان من نديم الزمن الظاهرة المغناطيسية ، وكان ذلك قبل اكتشاف الظواهر المغناطيسية الكهربائية بفترة طويلة .

١/٩ - الظواهر المصاحبة للمغناطيسات الطبيعية والصناعية :

( ١ ) نبذة تاريخية عن المغناطيسات الطبيعية :

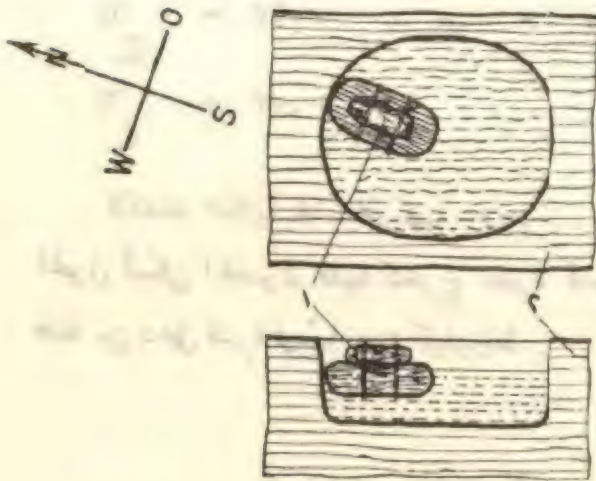
لم يعرف بعد على وجه التأكيد أول من اكتشف الحام الذي عرف بالمجنيثيت أو حجر المغناطيس من قديم الزمن .

ويحدث هذا الحام تأثيرا ديناميكيا ، يمكن ملاحظته عند جذبه للمواد الحديدية والنيكل والكوبلت عند تقريبها إليه .

ومن المسلم به أن هذه المعرفة لم يكن لها الأهمية العملية في ذلك الوقت ، بينما كان الاكتشاف الأكثر أهمية هو التالي : إذا علقنا قطعة من المجنيثيت بحيث تكون حرة الحركة ، فإنها توجه نفسها في اتجاه معين بالنسبة لما يحيط بها . ونعرف اليوم أن هذا التوجيه يتطابق مع اتجاه شمال جنوب الكرة الأرضية . وقدمت خاصية المجنيثيت هذه وسائل مقبولة . لتوجيه البحارة ، خلال رحلاتهم المحفوفة بالمخاطر في الأيام الأولى للبحرية .

وبين الشكل (٨١) مثالا للنموذج المبسط

لبوصلة جبر وسكوبية .

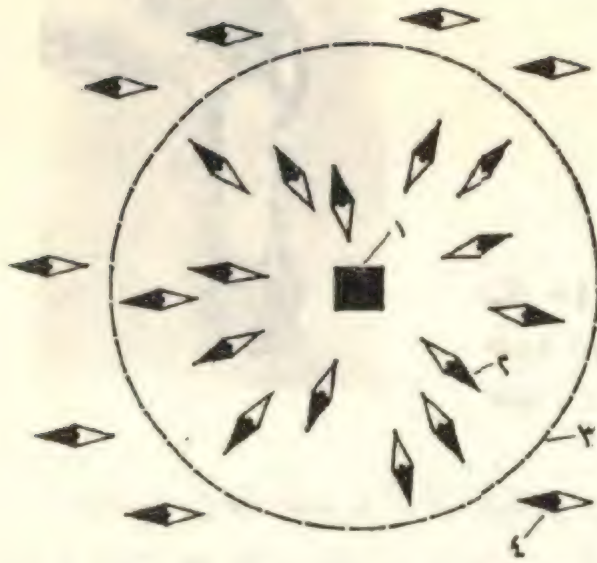


شكل ٨١ : قطعة من المجنيثيت تستخدم كبوصلة بدائية كانت أساسا لبوصلة الحديثة الجبر وسكوبية .

١ - حامة مجنيثيت مربوط على قطعة من الخشب .

٢ - إناء خشبي مملوء بالماء ، ويسبح الحام المغناطيسي في الاتجاه بين الشمال والجنوب .





شكل ٩١ : هذا التوضيح يساعد في تبين المجال المغنطيسي

- ١ - مغنطيس .
  - ٢ - إبرة مغنطيسية في نطاق مدى المجال المغنطيسي .
  - ٣ - حدود المجال المغنطيسي .
  - ٤ - إبرة مغنطيسية خارج نطاق مدى المجال المغنطيسي .
- ٢/٩ - المجالات المغنطيسية :

#### (١) تعريف مفهوم المجال المغنطيسي :

يستخدم الشكل (٩١) لإيضاح مفهوم المجال المغنطيسي . وفيه ترتب إبر مغنطيسية بحيث تتركز لتكون حرة الدوران ، على مسافات مختلفة حول مغنطيس .

وتوضع الإبر المغنطيسية في مستوى واحد معين (الشكل ٩١) وعلى أى حال ، فإنه يمكن وضع هذه الإبر فوق أو أسفل هذا المستوى المعين أيضا . ونلاحظ الظاهرة التالية : تنضبط جميع الإبر المغنطيسية بحيث تشير إلى المغنطيس ، وذلك في نطاق مسافة معينة منه ، وخارج هذا النطاق تنضبط الإبر المغنطيسية بحيث تكون في الاتجاه الشمالى - الجنوبى الأرضى .

ونحصل من ذلك على الخلاصة التالية : تؤثر القوى المغنطيسية الناتجة عن مغنطيس في نطاق حيز معين ، يطلق عليه « المجال المغنطيسي » .

والمجال المغنطيسي هو حيز تكون المغنطيسية فعالة في نطاقه ، بحيث توجد عند أى نقطة فيه قوة مغنطيسية .

وللأرض مجال مغنطيسي أيضا . ويوضح الترتيب الخاص للإبر المغنطيسية المبين في الشكل (٩١) الحقيقة بوجود مجالين مغنطيسيين ، المجال المغنطيسى للأرض والمجال المغنطيسى للمغنطيس .

#### (ب) خطوط المجال المغنطيسى ونماذج خطوط المجال :

لتمتد إمكانية مشاهدة حدود وقوى المجال المغنطيسى بطريقة مرضية ، نستخدم ما يسمى « بخطوط المجال المغنطيسى ونماذجها » ، وتعرف أيضا بخطوط الفيض المغنطيسى ، كوسيلة لتوضيح هذه الظاهرة .

ويساعد الشكلان (٩٢) ، (٩٣) في تفهم كيفية تكوين وتخييل صورة لخطوط المجال المغنطيسى . فبغمس قضيب مغنطيسى ، أو مغنطيس على هيئة حدود الحصان ، في كومة صغيرة من برادة الحديد ، يتعلق بالمغنطيس عدد كبير من البرادة بترتيب معين .



ولا ينطبق القطبان المغنطيسيان للكرة الأرضية على القطبين الجغرافيين تماما ، بل يوجد بينهما انحراف يؤخذ في الاعتبار عند تدريج البوصلة .  
وتكون أقصى شدة للتأثير المغنطيسي عند قطبي المغنطيس .

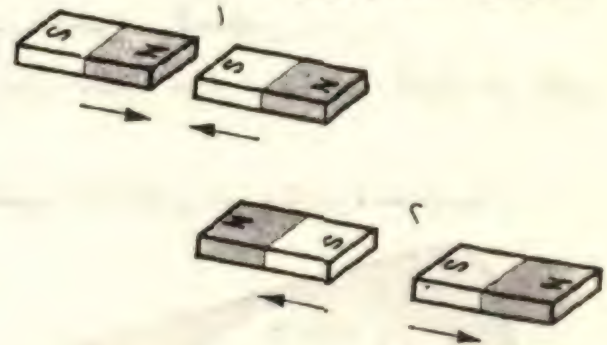
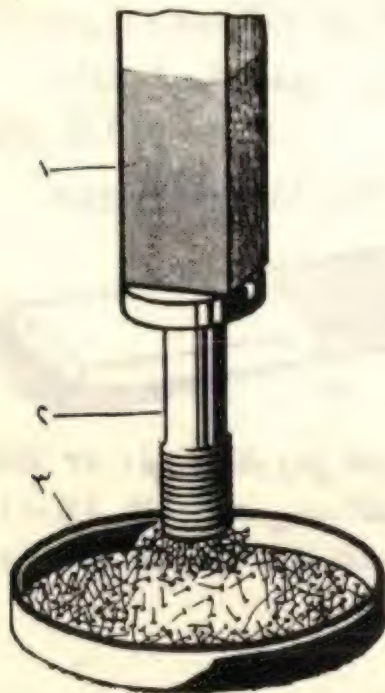
التجاذب والتنافر :

يبين الشكل (٨٥) قضيبا مغنطيسيا معلقا بحيث يكون حر الحركة ، ويقرب إليه مغنطيس آخر ، نلاحظ ما يلي :

بتقريب القطب الشمالي للقضيب المغنطيسي نحو القطب الجنوبي للمغنطيس المعلق ، يتحرك الأخير نحو القضيب المقرب إليه . وهذا يعني أنه عندما ما يواجه القطب الشمالي للمغنطيس القطب الجنوبي للمغنطيس آخر فإنهما يتجاذبان . ولكن عندما نقرب القطب الجنوبي للمغنطيس نحو القطب الجنوبي للمغنطيس المعلق ، يتحرك الأخير بعيدا عن المغنطيس المقرب . وهذا يعني أنه عندما يواجه قطب مغنطيسي قطبا مغنطيسيا آخر مشابهاً له في القطبية ، فإنهما يتنافران .  
تتجاذب الأقطاب المغنطيسية المختلفة القطبية ، وتتنافر الأقطاب المغنطيسية التي لها نفس القطبية ( قانون تأثير القوى المغنطيسية ) .

الحث المغنطيسي :

لقد تم وصف الحث الكهربائي عند شرح الظاهرة الاستكاثيكية الكهربائية . ويحدث أيضا حث مغنطيسي كما هو موضح بالشكل ٨٦ . حيث يوضع قطب مغنطيسي فوق مجموعة دبابيس صغيرة ، على مسافة كبيرة ، بحيث لا تنجذب إليه . وإذا وضعنا على سبيل المثال ، مسبار مكتمل ملولب ، بين قطب المغنطيس والدبابيس ، يجذب اللولب الدبابيس الصغيرة ، بفرض أن المسافة بينهما تكون صغيرة بدرجة كافية . وإذا حركنا المغنطيس بعيدا عن اللولب ، نلاحظ سقوط الدبابيس المعلقة باللولب .



شكل ٨٥ : تجاذب وتنافر المغنطيسات :

- ١ - يتجاذب القطب الجنوبي والقطب الشمالي .
- ٢ - تتنافر الأقطاب التي لها نفس القطبية .

شكل ٨٦ : الحث المغنطيسي :

- ١ - قضيب مغنطيسي .
- ٢ - وعاء به دبابيس .
- ٣ - مسبار مكتمل ملولب .

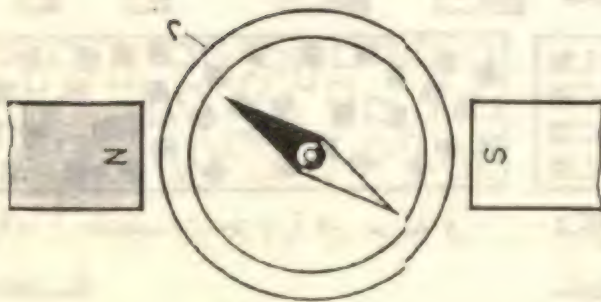
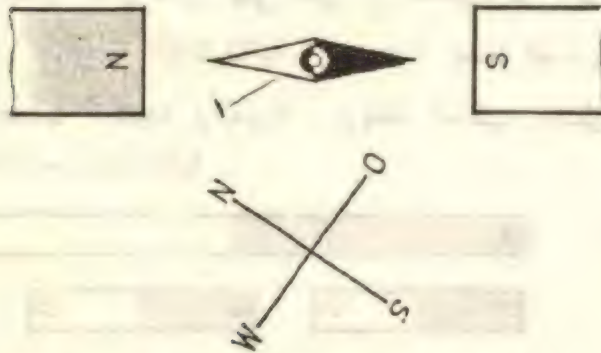


## (ج) الاستباقية:

إذا وضعنا بدلا من سمار المكينة الملولب ، المصنوع من الصلب ، قطعة أخرى من الحديد المطاوع ( مادة حديدية غير مصلدة ) ، في الحيزين القضيب المغنطيسي والدبابيس ، تلاحظ أيضا سقوط الدبابيس عند رفع المغنطيس ، بينما يكون لدى قطعة الحديد المطاوع القدرة على جذب برادة الحديد . ونحصل من ذلك على الخلاصة التالية : لا تتلاشى المغنطيسية كلية بإبعاد القضيب المغنطيسي المؤثر ، وإنما تكون هناك بقية صغيرة منها ، في الحديد المطاوع . وتسمى هذه الظاهرة « المغنطيسية المتبقية » أو « الاستباقية » . وقد أفادت هذه الظاهرة في تطوير صناعة المولدات الكهربائية فائدة كبيرة ، وسوف يأتي شرح هذا فيما بعد .

### تأثير الحجب المغنطيسي :

لا تتجه إبرة مغنطيسية في اتجاه المغنطيسية الأرضية إذ وضعت بين قضبي مغنطيس ، ولكنها تتجه في اتجاه الشمال الجنوبي للقضيب المغنطيسي ، نظرا لأن الأخير يحدث قوة أكبر على الإبرة من قوة المغنطيس الأرضي . وبوضع حلقة من الحديد المطاوع بين قطبي المغنطيس ، وإبرة مغنطيسية داخل هذه الحلقة ، نجد أن الإبرة تأخذ اتجاه الشمال الجنوبي للمغنطيس الأرضي . ويتضح أنه ليس للمغنطيس أى تأثير مغنطيسي داخل حلقة الحديد المطاوع . ويطلق على هذه الظاهرة « تأثير الحجب المغنطيسي » ، وتستغل هذه الظاهرة في البوصلات المستخدمة في السفن . وعادة ما يدخل في صناعة هذه السفن ، كميات كبيرة من الصلب ، مما يؤثر على انضباط الإبرة المغنطيسية . ولهذا السبب تحجب الإبرة المغنطيسية لضمان الضبط الصحيح لها في اتجاه الشمال الجنوب . ويوضح الشكل (٨٧) تأثير الحجب المغنطيسي .



شكل ٨٧ : بيان تأثير الحجب المغنطيسي

- ١- تتجه الإبرة المغنطيسية في اتجاه الأقطاب الموضوعة بينها .
- ٢- إذا وضعت حلقة من الحديد المطاوع بين الأقطاب ، فإن الإبرة تتجه في الاتجاه الشمال - الجنوبي الأرضي .



#### (د) النظرية الجزيئية للمغناطيسية :

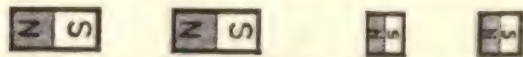
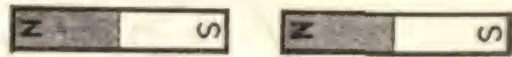
في مجال دراسة اظواهر المغناطيسية ، كان لابد من البحث عن إجابات لعدد من الأسئلة ، فعلى سبيل المثال ، يوجد دائماً قطبان مختلفا القطبية في المغنطيس ، ولا يوجد مغنطيس بقطب واحد . ولماذا يكون للمغناطيسات الصلب ( والمغناطيسات الخزفية ) مغناطيسية دائمة ، بينما تحتفظ المغناطيسيات من الحديد المطاوع بمغناطيسية استبقائية فقط ؟ . مثل هذه الأسئلة ، يمكن الإجابة عليها بفرض أن المواد المغناطيسية تتكون من مغناطيسيات متناهية في الصغر تسمى « مغناطيسيات جزيئية » .

يوضح الشكل (٨٨) كيفية تكوين هذا المفهوم . بتقسيم قضيب مغنطيس عند المنطقة المحايدة ، نحصل على قضيبين مغناطيسيين ، لكل منهما قطب جنوبي واحد وقطب شمالي واحد . ويمكن الاستمرار في هذا التقسيم ، وأصغر ما نحصل عليه ، يكون عبارة عن مغنطيس بقطب جنوبي وقطب شمالي .

ويفترض أنه حتى مثل هذه الأجزاء الصغيرة التي لا يمكن قطعها من المغنطيس بأدوات القطع العادية ، تظل مغناطيسات ، وبمعنى آخر تكون أصغر أجزاء المواد المغناطيسية مغناطيسات . وحيث أنه يطلق على الأجزاء الصغيرة من المادة جزيئات ، فيطلق على هذه المغناطيسات الصغيرة « المغناطيسات الجزيئية » .

ويفترض أيضا أن المغناطيسات الجزيئية في أى مادة مغناطيسية بعيدة عن التأثير المغناطيسي تكون في أوضاع غير مرتبة وبغير اتجاه مفضل ( الشكل ٨٩ ) .

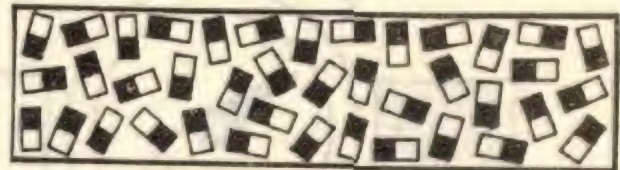
وعند مغنطة هذه المواد المغناطيسية مثلا ، بذلك نصيب مغناطيسي ، ترتب المغناطيسات الجزيئية نفسها بالطريقة المبينة بالشكل (٩٠) . وبمغنطة الحديد المطاوع ، يفقد مغناطيسيته بعد وقت قصير ، ولكن يبقى قليل من المغناطيسات الجزيئية به في حالة مرتبة . وهذا هو سبب حدوث ظاهرة الاستبقائية . وعندما يمحط الصلب بتحول إلى مغنطيس . ويرجع ذلك إلى بنية الصلب الكثيفة والقوية . ويفقد الصلب مغناطيسيته إذا تعرض لاهتزازات عنيفة ، أو درجات حرارة عالية .



شكل ٨٨ : تقسيم المغناطيسات .

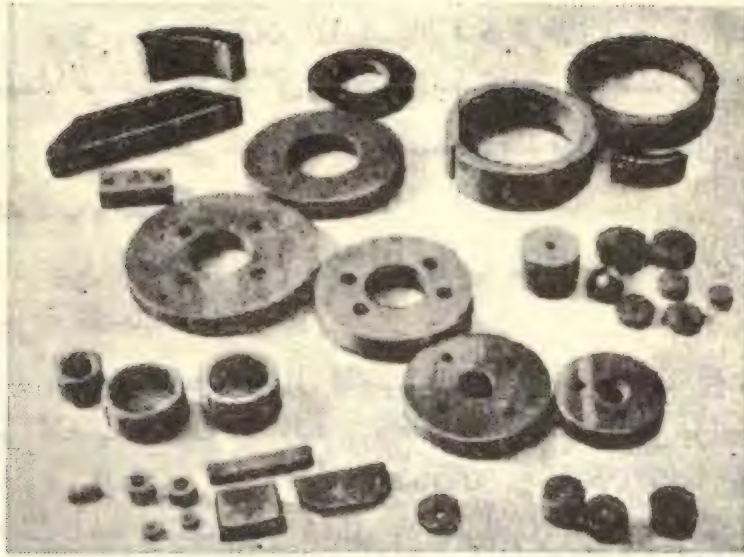


شكل ٩٠ : مغناطيسات جزيئية مرتبة في مادة مغناطيسية



شكل ٨٩ : مغناطيسات جزيئية غير مرتبة في مادة مغناطيسية





شكل ٨٢ : مغنطيسات خزفية  
(VEB Keramische Werke  
Hermsdorf, GDR )

(ب) المغنطيسات الصناعية :

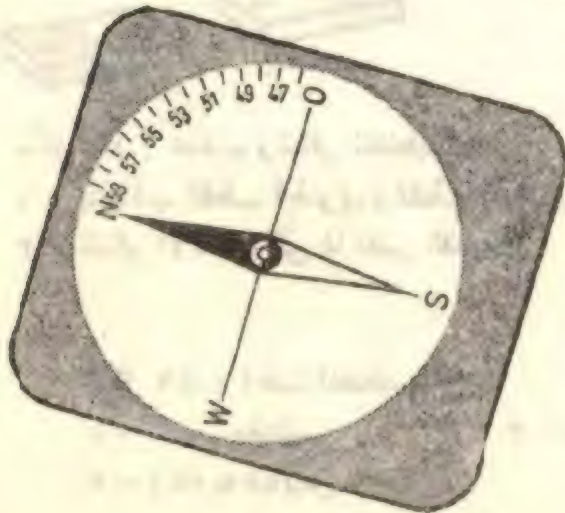
لم يعد للمجنيثية أهمية عملية في هذه الأيام . حيث استخدم بدلا منه مغنطيسات صناعية من الصلب وسبائكه وكذلك مغنطيسات خزفية . ويمكن تصنيع الأخيرة في أى شكل مطلوب كما في الشكل (٨٢) .

ونبدأ هنا بإيضاح بضعة مفاهيم خاصة بالمغنطيسية ، وذلك باستخدام قضيب مغنطيسي على سبيل المثال :

الأقطاب :

يبين الشكل (٨٣) قضيبا مغنطيسيا موضوعا على برادة حديد ناعمة . ونلاحظ أن الغالبية العظمى من هذه البرادة تتعلق بنهايتي القضيب ، ويطلق على هاتين النهايتين « القطبان » . ولا تتعلق برادة الحديد حول مركز القضيب ، ويطلق على هذا الجزء من القضيب « المنطقة المحايدة » للمغنطيس . ويجب التمييز بين القطب الشمالى والقطب الجنوبى للمغنطيس . وتشتق تسمية القطبين من توجيه مغنطيس يعلق تعلقا حرا ، فالقطب الشمالى هو الذى يشير إلى الشمال الجغرافى .

وبين الشكل (٨٤) بوصلة جيب بسيطة ، قضيبها المنطيسي على هيئة إبرة مغنطيسية .



شكل ٨٣ : توزيع القوى على قضيب مغنطيسي .

- ١ - تؤثر القوى العظمى عند القطبين .
- ٢ - تأثير القوى في المنطقة المحايدة غير ملحوظ .

شكل ٨٤ : بوصلة في وضع اتجاه الشمال - الجنوب .





شكل ٩٢ : قضيب مغنطيسي  
معلق به برادة حديد .



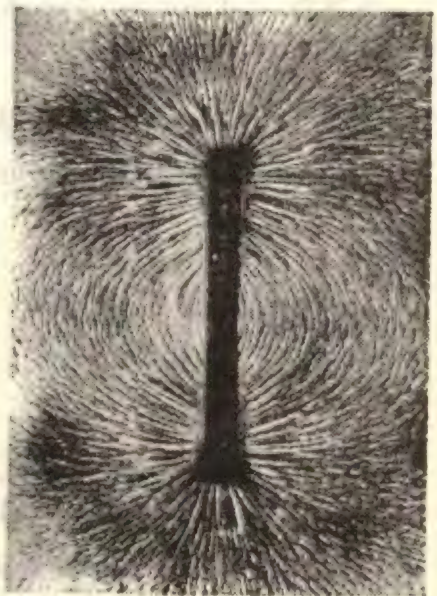
شكل ٩٣ : مغنطيس على هيئة  
حدوة الحصان معلق به برادة  
حديد .

ويتضح من هذه التجربة أن كمية قليلة من البرادة تتعلق بالقضيب المغنطيسي في المنطقة المحايدة منه ، بينما توجد القوى العظمى عند قطبي مغنطيس حدوة الحصان ، ويوضح الشكلان التأثير الخاص بالمغنطيسية .

ويمكن إيضاح خطوط الفيض المغنطيسي بطريقة أحسن ، وذلك بواسطة لوح من الزجاج مغطى ببرادة الحديد . وبوضع مغنطيس فوق هذا اللوح ، والدق على اللوح دقا خفيفا ، تنظم الأجزاء نفسها بترتيبة معينة مبينة خطوطا للفيض المغنطيسي على هيئة خطوط متقاربة نوعا . ويوضح الشكلان (٩٤) ، (٩٥) نموذجين لخطوط الفيض المغنطيسي .



شكل ٩٤ : تشكيل المجال المغنطيسي  
لقضيب مغنطيسي يمكن مشاهدته  
بمساعدة برادة الحديد .



شكل ٩٥ : تشكيل المجال المغنطيسي  
لمغنطيس على هيئة حدوة الحصان  
يمكن مشاهدته بمساعدة برادة الحديد .



ويستخلص من ذلك ما يلي :

خطوط الفيض المغنطيسي هي خطوط مغلقة وتمتد من القطب الشمالى إلى القطب الجنوبى للمغنطيس . وتبين نماذج خطوط الفيض شكل المجال المغنطيسى .

#### ٣/٩ - الظاهرة المغنطيسية الكهربائية :

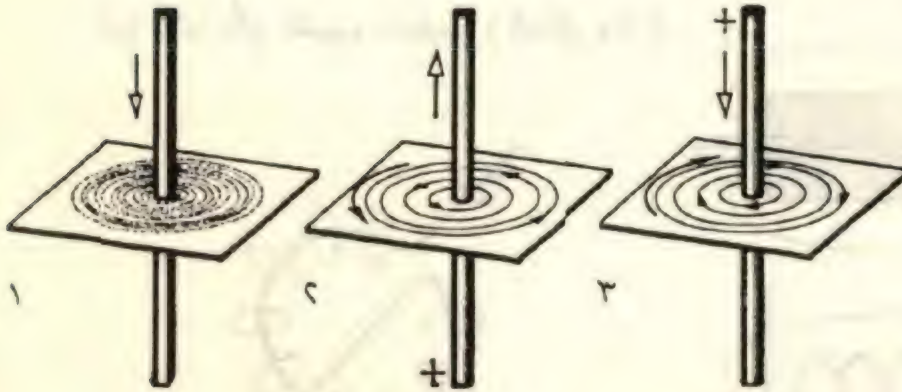
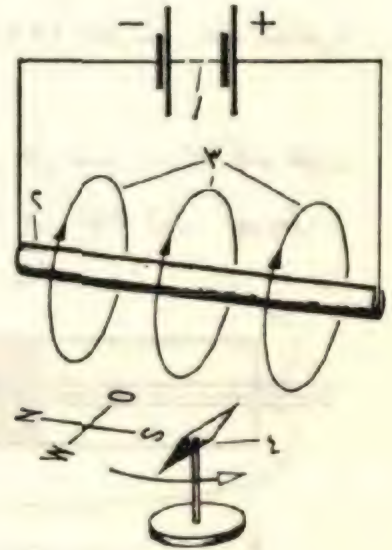
شرحنا فى الفصل الأول من هذا الكتاب التأثير المغنطيسى للتيار الكهربائى ، وكان أورستد Oersted الفيزيائى الدانمركى أول من اكتشف الظاهرة المغنطيسية الكهربائية . حيث لاحظ فى عام ١٨٢٠ انحراف البوصلة المغنطيسية الموضوعة على محور ارتكاز عن اتجاه الشمال - الجنوب ، إذا وضعت قريبا من موصل مستقيم يحمل التيار الكهربائى . وأوضحت التجارب التى أجراها أورستد تكوين مجالات مغنطيسية حول الموصلات الحاملة للتيار الكهربائى .

#### ( ١ ) المجال المغنطيسى للموصل المستقيم الحامل للتيار الكهربائى :

يبين الشكل (٩٦) ترتيب الاختبار التى يحتمل أن يكون قد استخدمها أورستد . ويبين اتجاه الإبرة المغنطيسية اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى حول الموصل الحامل للتيار الكهربائى . ويعتمد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى على اتجاه التيار الكهربائى ، ويمكن إثبات ذلك أيضا بمساعدة الإبرة المغنطيسية .

شكل ٩٦ : تحديد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى حول الموصل الحامل للتيار الكهربائى :

- ١ - مصدر للجهد .
- ٢ - موصل .
- ٣ - خطوط الفيض واتجاهها .
- ٤ - الإبرة المغنطيسية المنحرفة .



شكل ٩٧ : هذا التوضيح يساعد فى تبين العلاقة بين اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى واتجاه التيار الكهربائى

- ١ - خطوط المجال حول الموصل الحامل للتيار الكهربائى .
- ٢ - اتجاه خطوط المجال .
- ٣ - اتجاه خطوط المجال بعد عكس اتجاه التيار .



ويبين الشكل (٩٧) ترتيب اختبار بها موصل يخترق لوحا من الزجاج مغطى ببرادة الحديد الناعمة . وعند إمرار تيار كهربائي بالموصل ، بالدق الخفيف على لوح الزجاج ، ترتب برادة الحديد نفسها طبقا لخطوط الفيض مكونة نموذجا نوعيا للمجال المغنطيسي للموصل . وتبين الإبر المغنطيسية الموضوعة على لوح الزجاج اتجاه الفيض . وعند عكس القطبية في هذه الترتيب ( وذلك بجعل التيار الكهربائي يمر في عكس اتجاهه الأول ) ، ينعكس أيضا اتجاه الفيض . ويمكن بسهولة تحديد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسي التي تعتمد على اتجاه التيار الكهربائي ، وذلك بمساعدة القاعدتين التاليتين .

#### قاعدة اللولب :

عند ربط مسبار ملولب يميني إلى أسفل في اتجاه سريان التيار الكهربائي ، فإن اتجاه دورانه يبين اتجاه الفيض المغنطيسي .

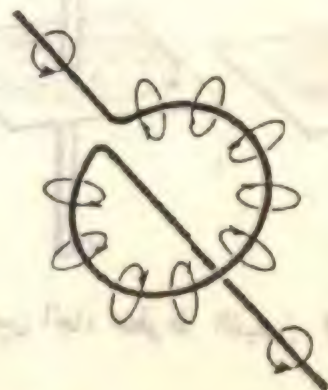
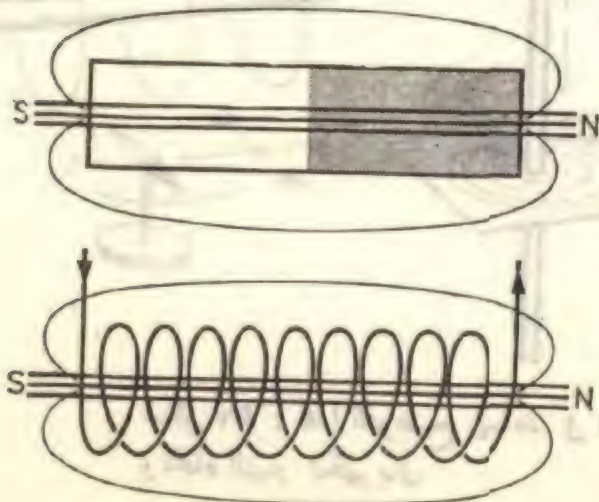
#### قاعدة الإبهام :

عند القبض على موصل حامل للتيار باليد اليمنى ، بحيث يشير إصبع الإبهام إلى اتجاه سريان التيار ، تبين أطراف الأصابع اتجاه خطوط الفيض المغنطيسي .

#### (ب) المجال المغنطيسي لملف حامل للتيار الكهربائي :

عند ثني موصل مستقيم لتكوين حلقة دائرية ، يحدث تراكب للمجالات المغنطيسية لهذا الموصل ، نتيجة لمرور التيار الكهربائي خلاله . ويبين الشكل (٩٨) حدوث هذه الظاهرة على حلقة أو لفيفة واحدة .

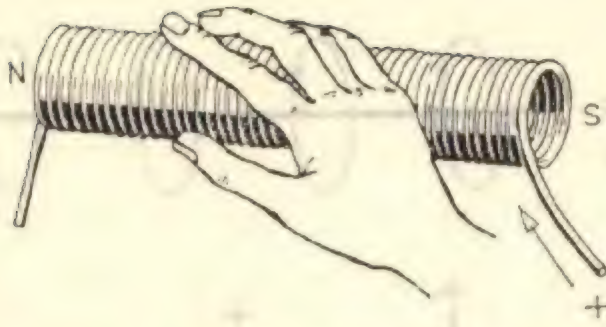
وبوضع عدة لفيفات من موصل بجانب بعضها البعض ، نحصل على ملف . وإذا كان طول هذا الملف كبيرا بالنسبة لقطره ، نلاحظ أن تأثير هذا الملف عندما يمر خلاله تيار كهربائي ، يشبه تماما تأثير قضيب مغنطيسي ( الشكل ٩٩ ) .



شكل ٩٩ : المجالات المغنطيسية لقضيب مغنطيسي وملف حامل للتيار الكهربائي .

شكل ٩٨ : تراكب المجالات المغنطيسية في ملف حامل للتيار الكهربائي .





شكل ١٠٠ :

ويمكن بسهولة معرفة قطبية الملف الحامل للتيار بمساعدة القاعدتين التاليتين :

قاعدة عقرب الساعة :

عند النظر إلى فتحة ملف ، يكون طرف الملف المواجه للناظر هو القطب الجنوبي إذا مر التيار عبر الملف في اتجاه حركة عقارب الساعة ، ويكون هو القطب الشمالي إذا مر التيار في اتجاه عكس حركة عقارب الساعة .

قاعدة الإبهام ( الشكل ١٠٠ ) :

عند القبض على ملف باليد اليمنى ، بحيث تشير أطراف الأصابع لاتجاه سريان التيار بالملف ، يبين الإبهام الممتد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسي داخل الملف ، ويبين طرف الإبهام موضع القطب الشمالي .

( ج ) القوى المؤثرة بين الموصلات والملفات الحاملة للتيار الكهربائي :

بالإضافة إلى ما سبق شرحه بالنسبة لتأثير المجالات المغنطيسية للموصلات والملفات الحاملة للتيار الكهربائي على نبائط مثل الإبر المغنطيسية ، يفرض البحث نفسه لإيجاد التأثير المتبادل بين المجالات المغنطيسية للموصلات والملفات الحاملة للتيار الكهربائي .

التجاذب والتنافر بين الموصلات المتوازية :

تستخدم هذه الطريقة بكثرة لبيان اتجاه التيار في موصل . ويبين الشكل ( ١٠١ ) قطعتين من موصلين ، ويوضح اتجاه التيار في كل منهما بسهم مواز لهما . وعند النظر إلى المقطع المستعرض للموصل يظهر رأس السهم على هيئة نقطة ، في هذه الحالة يكون اتجاه التيار نحو الناظر . وإذا كان سريان التيار في اتجاه عكسي ، تظهر مؤخرة السهم على هيئة صليب عند مقطع الموصل .



شكل ١٠١ : إيضاح لاتجاه التيار في الموصلات.

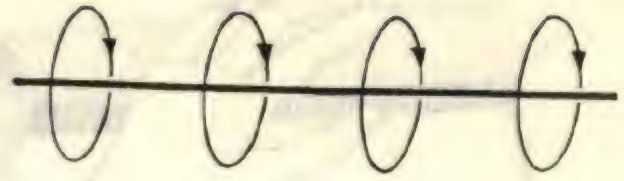
١ - قطعتان لموصلين وموضح عليهما اتجاه سريان التيار .

٢ - يسرى التيار في اتجاه الناظر .

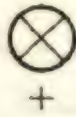
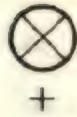
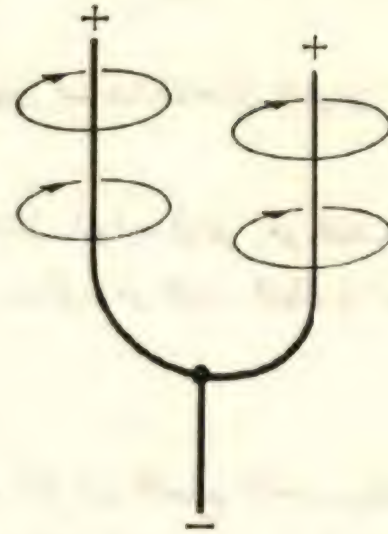
٣ - يسرى التيار في الاتجاه العكسي للناظر .



شكل ١٠٢ : موصل مستقيم وعليه خطوط المجال المغنطيسي :



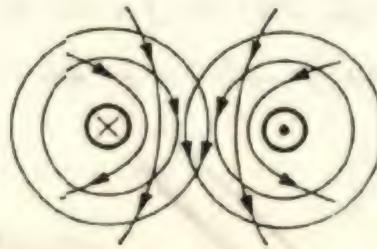
شكل ١٠٣ : موصل بشكل حرف U .



شكل ١٠٤ : تمثيل للمجال المغنطيسي لموصلين متوازيين يحملان التيار في نفس الاتجاه .

وبين الشكل (١٠٢) موصل كهربائي وخطوط المجال المغنطيسي تحيط به . وبشي هذا الموصل كما في الشكل (١٠٣) ، يكون الفيض المغنطيسي كما هو مبين في الشكل (١٠٤) . وباستخدام موصلين من النوع المرن بدلا من النوع اصلد ، يحدث تجاذب متبادل بينهما عند مرور تيار بشدة كافية خلالهما ( الشكل ١٠٥ ) .

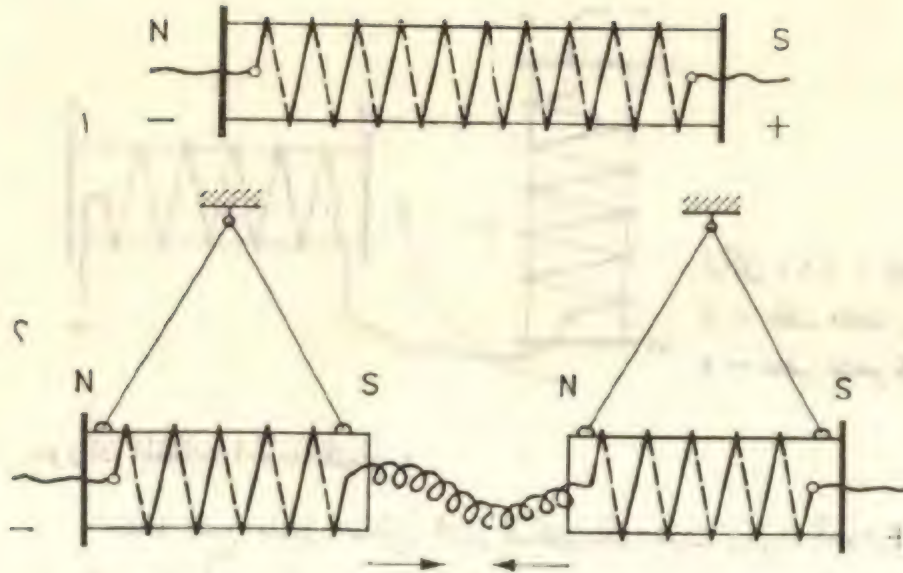
وعندما يمر التيار عبر الموصلين المتوازيين في اتجاه يصاد أحدهما الآخر ، تكون خطوط الفيض النموذج المبين بالشكل (١٠٦) . وعندما تمر التيارات الكهربائية عبر الموصلات في اتجاه يصاد أحدهما الآخر يتنافر الموصلان مع بعضهما البعض .



شكل ١٠٧ : التنافر المتبادل بين موصلين متوازيين حاملين للتيار الكهربائي .

شكل ١٠٦ : تشكيل المجال للمغنطيسي حول موصلين متوازيين حاملين للتيار في اتجاهين متضادين .

شكل ١٠٥ : تجاذب موصلين متوازيين حاملين للتيار الكهربائي .

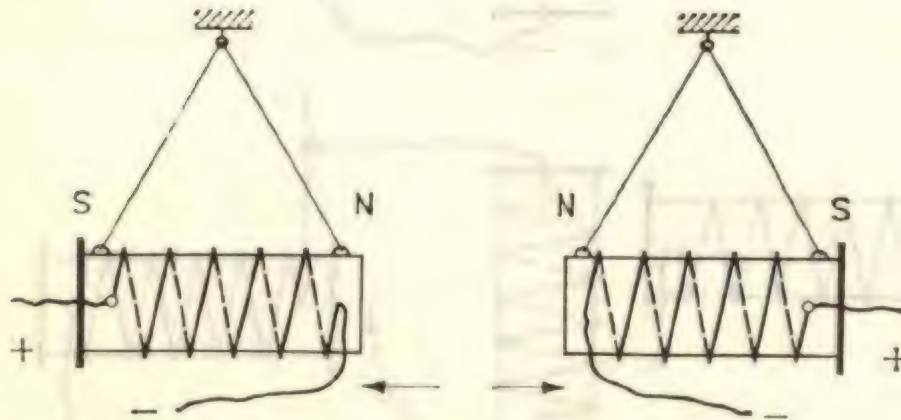


شكل ١٠٨ :  
التجاذب المتبادل بين  
ملفين حاملين للتيار  
الكهربائي :

- ١ - ملف طويل ومبين عليه اتجاه التيار وقطبيه .  
٢ - نصف ملف حامل للتيار في نفس الاتجاه .

#### التجاذب والتنافر بين الملفات الحاملة للتيار الكهربائي :

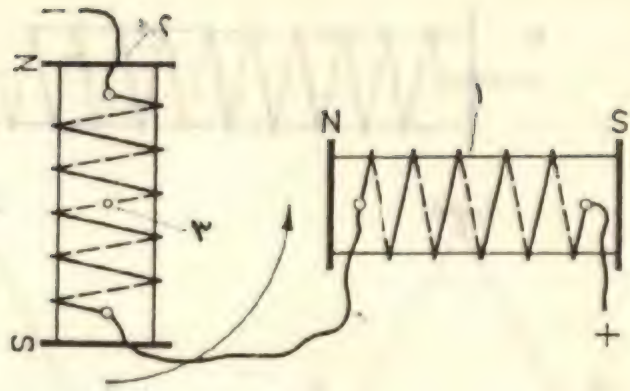
بمقارنة تصرف الملفات الحاملة للتيار الكهربائي بالقضبان المغناطيسية يتضح وجود تشابه بينهما من حيث المجال المغناطيسي والقطبية . ويؤدي هذا إلى حدوث نفس الظاهرة التي تلاحظ عند تقسيم قضبان المغناطيسات ، وذلك عند تقسيم الملفات . وكما سبق ذكره ، فإن تقسيم القضيب المغناطيسي إلى قسمين ينتج عنه مغناطيسين بقطبية عكسية عند مستوى المقطع ، ولذلك فإنهما يتجاذبان بعد التقسيم . وينطبق هذا تماما على الملفات الحاملة للتيار الكهربائي ، كما هو مبين بالشكل ( ١٠٨ ) . وينقسم الملف ( ١ ) إلى النصفين المعلقين والموصلين بالريقة الموضحة في ( ٢ ) . وبإمرار التيار الكهربائي عبر هذه الترتيبة ، يتجاذب الملفان ، ولكنهما يتنافران عند عكس اتجاه التيار في أحدهما ( الشكل ١٠٩ ) .



شكل ١٠٩ : تنافر متبادل للملفين حاملين لتيارين في اتجاهين متضادين .



شكل ١١٠ : دوران الملفات الحاملة للتيار :  
 ١ - ملف مثبت .  
 ٢ - ملف متحرك .  
 ٣ - محور ارتكاز .



دوران الملفات الحاملة للتيار :

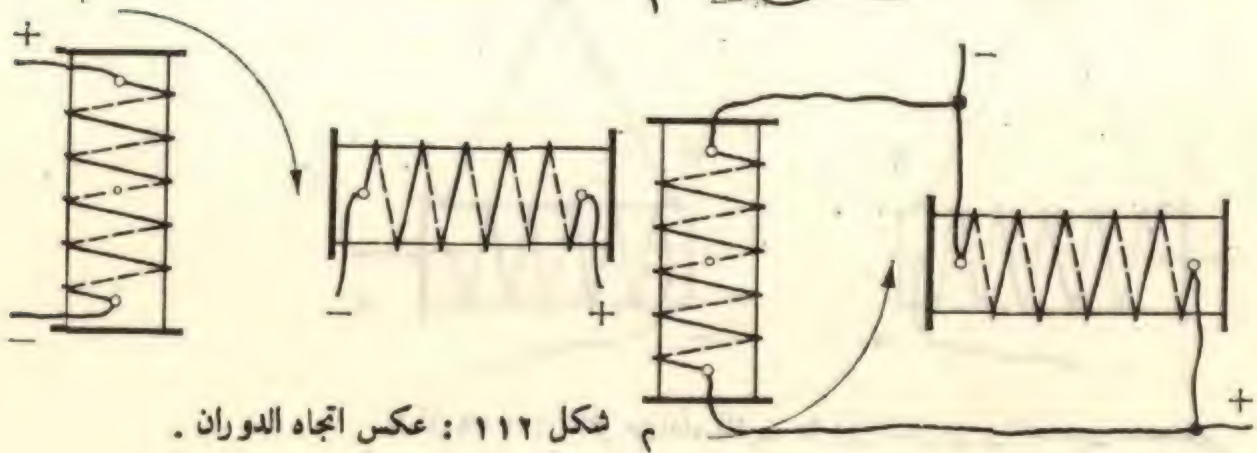
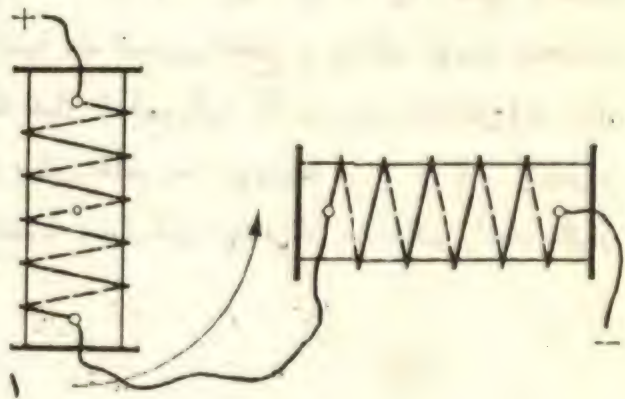
عندما نضع ملفين حاملين للتيار الكهربائي، بحيث يكون أحدهما مرتكزا بطريقة يكون فيها حر الدوران أمام الآخر، نجد أن الملف الحر الدوران يتصرف كما هو مبين بالشكل (١١٠).

وبإمرار التيار عبر هذه الترتيبة، يدور الملف القابل للدوران، حتى يصبح قطبه الجنوبي مقابلا للقطب الشمالي للملف الثابت. ويكون اتجاه اللف لكلا الملفين واحدا. ونحصل على نفس اتجاه الدوران بعكس التيار الكهربائي المار عبر كلا الملفين، أو بمعنى آخر، بعكس القطبية (الشكل ١١١ - ١). ونحصل أيضا على نفس اتجاه الدوران كما في الحالتين السابقتين بتوصيل الملفين على التوازي كما في الشكل (١١١ - ٢).

ونحصل على عكس اتجاه الدوران بتوصيل الملفين كما هو مبين بالشكل (١١٢).

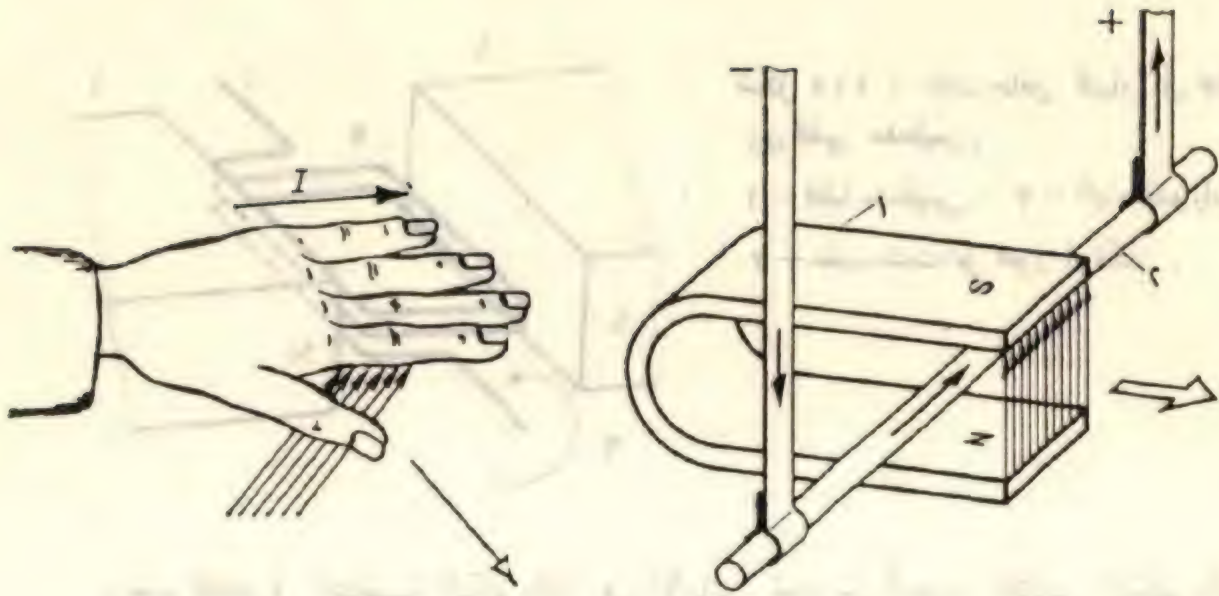
شكل ١١١ : اتجاه الدوران للملفات الحاملة للتيار الكهربائي :

١ - اتجاه الدوران لا يتغير بتغيير اتجاه التيار .  
 ٢ - اتجاه الدوران لا يتغير كذلك بتوصيل الملفين على التوازي .



شكل ١١٢ : عكس اتجاه الدوران .





شكل ١١٣ : موصل حامل للتيار في المجال المغنطيسي شكل ١١٤ : توضيح لقاعدة اليد اليسرى .  
لمغنطيس على هيئة حدوة الحصان :

١ - مغنطيس حدوة الحصان . ٢ - موصل متحرك .

وتستغل هذه الظاهرة في آلات الحركة الديناميكية الكهربائية ، حيث يكون انحراف المؤشر المثبت في الملف المتحرك ، هو قياس للكية الكهربائية . وسيرد فيما بعد وصف تفصيل لهذه النماط .

( د ) الملفات والموصلات الحاملة للتيار الكهربائي في مجال مغنطيسي :

والسؤال الذي يطرح نفسه ، هو كيفية تصرف الوصلات والملفات الحاملة للتيار في المجالات المغنطيسية التي تنتجها المغنطيسيات الصناعية ( المغنطيسات الدائمة ) .  
الموصلات الحاملة للتيار الكهربائي في مجال مغنطيسي :

يبين الشكل (١١٣) موصلا حاملا للتيار في مجال مغنطيسي لمغنطيس على هيئة حدوة الحصان .  
عندما يحمل الموصل التيار ، فإنه يدفع خارج المجال المغنطيسي ( ينحرف ) . ولإيضاح ذلك ، يعلق الموصل بشريحتي توصيل . ويلاحظ أن هناك علاقة متبادلة بين اتجاه التيار ، ووضع المجال المغنطيسي ، واتجاه الانحراف ، وذلك عند إمرار تيار ذي شدة كافية عبر الترتيبة .  
ويعبر عن هذه العلاقة بالطريقة التالية المعروفة بقاعدة اليد اليسرى :

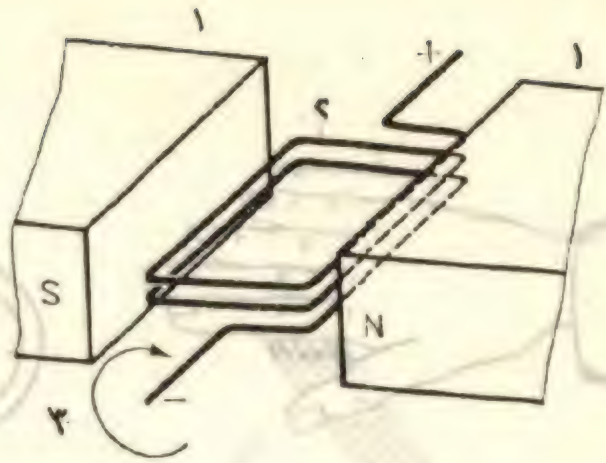
إذا كانت خطوط الفيض المغنطيسي تخترق راحة اليد ، بينما تشير أطراف الأصابع إلى اتجاه التيار الكهربائي ، فإن الإبهام الممتد يشير إلى اتجاه الانحراف .  
الملف الحامل للتيار في مجال مغنطيسي :

يبين الشكل (١١٥) ملفا حاملا للتيار في مجال مغنطيسي على هيئة حدوة الحصان .

يدور الملف عندما يمر عبره تيار كهربائي بشدة كافية . ويمكن معرفة اتجاه الدوران بمساعدة قاعدة اليد اليسرى .



- شكل ١١٥ : ملف حامل للتيار في مجال  
بين قطبي مغنطيس .  
١ - قطبا مغنطيس . ٢ - اتجاه الدوران .  
٣ - ملف مثبت على محور ارتكاز .



وهذه الظاهرة المغنطيسية الكهربائية هي الأساس لعدد من أجهزة القياس الكهربائية والمحركات الكهربائية التي ستناقش في أقسام مستقلة من الكتاب .

#### ٤/٩ - كميات لتحديد قيمة المجالات المغنطيسية :

##### ( أ ) الموصلية المغنطيسية - النفاذية :

عندما نضع مغنطيسا صغيرا في مجال مغنطيسي يحدث تأثير ديناميكي يجذب أو يبعد هذا المغنطيس ، ويعتمد ذلك على وضع المغنطيس بالنسبة للمجال المغنطيسي . ويمكن قياس مثل هذا التأثير الديناميكي على سبيل المثال بواسطة ميزان زنبركي . ويمكن للمجالين مغنطيسيين لهما نفس المدى أن يحدثا تأثيرين ديناميكين مختلفين على مغنطيس صغير جدا . وهناك عدة أسباب لهذه الظاهرة نشرحها فيما يلي :

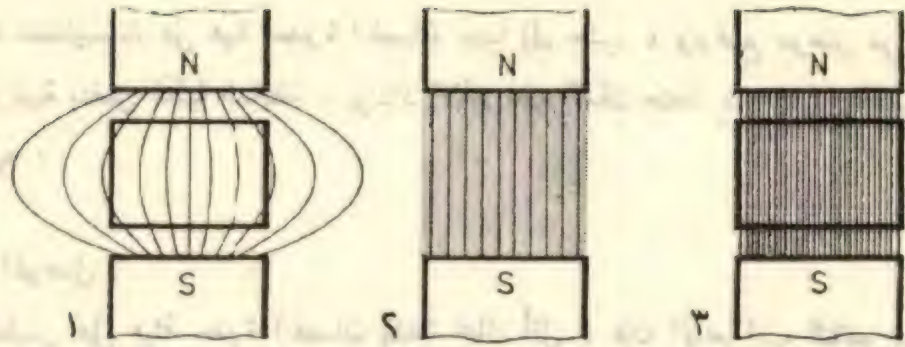
يكون للمجال المغنطيسي الذي يحدث قوة أكبر على مغنطيس ، خطوط مغنطيسية للفيض « كثافتها أعلى » من المجال الآخر الذي له نفس المدى والذي يحدث قوة أقل على هذا المغنطيس . وتعتمد كثافة خطوط المجال المغنطيسي على نوع المادة التي يحدث فيها هذا المجال . وتسمى خاصية المادة التي تؤثر على كثافة خطوط المجال المغنطيسي « الموصلية المغنطيسية » أو « النفاذية » ويرمز لهذه الكمية بالرمز  $\mu$  (ميو) .

##### ( ب ) المواد الدايا مغنطيسية والبارا مغنطيسية :

النفاذية لمادة ما هي عدد يعبر عن انحراف الموصلية المغنطيسية لهذه المادة عن تلك الخاصة بالهواء (  $\mu = 1$  ) .

فالمواد التي تؤثر على المجال المغنطيسي فتقلل كثافة خطوط المجال المغنطيسي ( مثل البزموت والنحاس الأحمر والانتيمون والذهب ) تسمى « مواد ديا مغنطيسية » ونفاذيتها  $\mu = 1$  .  
وأما المواد التي تؤثر على المجال المغنطيسي فتزيد من كثافة خطوط المجال المغنطيسي ( مثل





شكل ١١٦ : المواد الدايا مغنطيسية والبارا مغنطيسية :

١ - تشكيل للمجال المغنطيسي في وسط دايا مغنطيسي .

٢ - تشكيل للمجال المغنطيسي في الهواء كوسط .

٣ - تشكيل للمجال المغنطيسي في وسط بارا مغنطيسي .

الألومنيوم والبلاتين وفي نطاق مدى معين لدرجة الحرارة ( الحديد والصلب والكوبلت والنيكل ) ، فتسمى « مواد بارا مغنطيسية » ونفاذيتها  $\mu < 1$  ( الشكل ١١٦ ) .

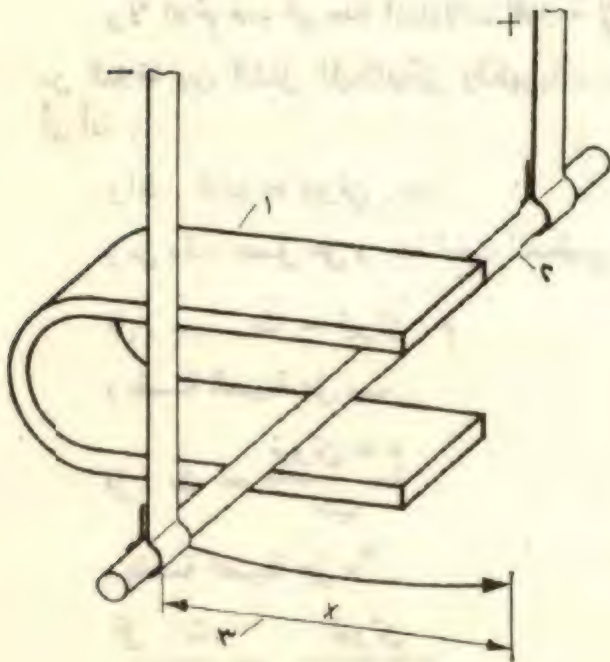
( ح ) الحث المغنطيسي :

الكثافة الكلية لجميع خطوط المجال المغنطيسي تسمى كثافة الفيض المغنطيسي . وهناك علاقة بين الحث المغنطيسي والوحدة الميكانيكية للقوة ( ق ) وشدة التيار الكهربائي ( ت ) ، وتوضح هذه العلاقة بالاختبار التالي : يبين الشكل ( ١١٧ ) موصلًا من نوع القضيب ، معلقًا حراً في المجال المغنطيسي لمغنطيس على هيئة حدوة الحصان . وعند إمرار تيار كهربائي ( ت ) عبر هذا الموصل ، فإنه ينحرف بعيداً عن المجال المغنطيسي . والقوة ( ق ) التي تؤثر على الموصل تميز بطول هذا الانحراف ( س ) . وعلى هذا فإن :

ق  $\propto$  س

ويقل الانحراف عند تخفيض شدة التيار المار عبر الموصل ، ويزيد هذا الانحراف بازدياد شدة التيار . وعليه يتضح أن القوة ( ق ) تتناسب طردياً مع شدة التيار ( ت ) . أي أن :

ق  $\propto$  ت



شكل ١١٧ : الحث المغنطيسي :

١ - مغنطيس على هيئة حدوة الحصان .

٢ - موصل قابل للحركة .

٣ - انحراف ( س ) نتيجة إمرار التيار .



وبترتيب عدة مغنطيسات على هيئة حدود الحصان جنبا إلى جنب ، ووضع موصل من نوع القضيبي في هذه الترتيبية بنفس الكمية السابقة ، يزداد الانحراف كذلك عندما يمر التيار الكهربائي عبر هذه الترتيبية عليه :

ق  $\alpha$  ل

حيث ل طول الموصل .

وباستعمال مغنطيس على هيئة حدود الحصان بشدة مجال أقل ، فإن الانحراف الناتج يكون أصغر ، وذلك بإمرار نفس شدة التيار ( ت ) ، ويكون للموصل نفس الطول كما في الترتيبية السابقة .

وإذا كانت شدة المجال المغنطيسي المستعمل في هذه التجربة أعلى ، فإن الانحراف الناتج ( س ) ، يزداد تحت نفس الظروف بالنسبة لشدة التيار وطول الموصل ( ت ، ل ) كما في التجربة السابقة .

وبإدخال شدة المجال المغنطيسي في هذه العلاقة : ق  $\alpha$  ت  $\times$  ل نحصل على هذه الصيغة :

ق = ف  $\times$  ت  $\times$  ل حيث ف (B) هو الحث المغنطيسي . وبحل هذه الصيغة لإيجاد ف م ينتج :

$$\frac{ق}{ت \times ل} = (ف م)$$

ونحصل على الوحدة التالية ، إذا عبر عن ( ق ) باليوتن ، وشدة التيار ( ت ) بالأمبير (مب) والطول ل بالمتر (م) .

$$\frac{\text{نيوتن}}{\text{مب} \times \text{م}} = ف م$$

ولا تلائم هذه الوحدة المعادلات اللازمة لإيجاد قيم المجال المغنطيسي . وقد اشتقت وحدة أخرى من العلاقة بين الشغل الميكانيكي والكهربائي ، كما هو معروف في نظام الوحدات المستخدمة هنا أي أن :

واط . ثانية = نيوتن . متر

ومن ذلك نحصل على وحدة الحث المغنطيسي ف م

فل . مب . ث = نيوتن . م

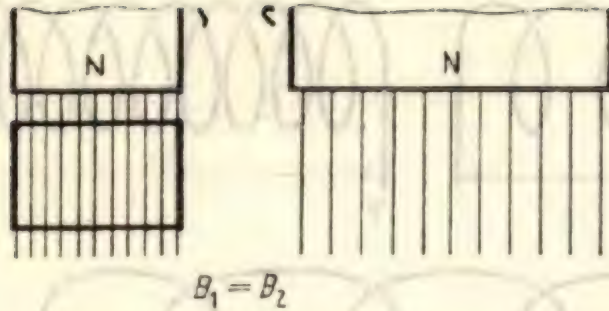
وبقسمة الصيغة على مب .

$$\frac{\text{نيوتن} \times \text{م}}{\text{مب}} = \text{فل} . \text{ث}$$

وبقسمة الصيغة على م<sup>2</sup> .

$$\frac{\text{فل} . \text{ث}}{\text{م}^2} = \frac{\text{نيوتن}}{\text{مب} \times \text{م}}$$





شكل ١١٨ : إيضاح الفيض المغنطيسي :

١ - عدد كبير من خطوط المجال المغنطيسي في وحدة المساحة .

٢ - عدد أصغر من خطوط المجال المغنطيسي في وحدة المساحة .

$$\frac{\text{نيوتن}}{\text{أمبير} \times \text{متر}} = \frac{\text{فلط} \times \text{ثانية}}{\text{متر مربع}}$$

ف<sub>م</sub> (B) لها نفس القيمة في كلتا الحالتين :

وتكتب أيضا الوحدة (  $\frac{\text{فل. ث.}}{\text{م}^2}$  ) للحث المغنطيسي ف<sub>م</sub> لأنه يطلق على « فلط . ثانية »

المصطلح « وبر » نسبة إلى عالم الطبيعيات وبر ( Weber ) .

وكثافة المجال المغنطيسي هي الحث المغنطيسي ( ف<sub>م</sub> ) ووحدته  $\frac{\text{وبر}}{\text{م}^2}$

( د ) الفيض المغنطيسي :

اعتبرنا حتى الآن الحث المغنطيسي بصرف النظر عن الحيز الذي يشغله المجال المغنطيسي . وعموما فإنه ليس لهذا الحيز أهمية كبيرة في الهندسة الكهربائية ، بل الأهم هو مساحة مسار الفيض والتي تمر خلالها خطوط الفيض المغنطيسي عموديا عليها .

ويوضح الشكل ( ١١٨ ) مجالين مغنطيسيين لهما نفس الحث المغنطيسي ف<sub>م</sub> للمقارنة .

يستخدم الصلب في الحيز الذي تمر عبره خطوط المجال في حالة المجال المغنطيسي الذي حثه

ف<sub>م</sub> (B<sub>1</sub>) ، بينما يستخدم الهواء في الحيز الذي تمر عبره خطوط المجال المغنطيسي الذي حثه ف<sub>م</sub>

(B<sub>2</sub>) . ويتضح أن المساحة التي تمر عبرها خطوط الحث في الحالة الأولى تكون صغيرة

نوعا عنها في الحالة الثانية ، وذلك بالرغم من تساوى الحث المغنطيسي في كلتا الحالتين . ولتمييز

العلاقة بين كثافة الحث المغنطيسي ( ف<sub>م</sub> ) والمساحة ( ج ) التي يمر عبرها هذا الحث ، يطلق

على حاصل ضرب هاتين الكيتين ( ج × ف<sub>م</sub> ) « الفيض المغنطيسي » ، ويرمز لها بالرمز Φ ( فاي )

ومن ذلك يتضح أن :

$$\Phi = \text{ف} \times \text{ج}$$

وحيث أن ف<sub>م</sub> يعبر عنها  $\frac{\text{فل. ث.}}{\text{م}^2}$  أو  $\frac{\text{وب}}{\text{م}^2}$  والمساحة ( ج ) بالمتر المربع . فينتج أن وحدة

الفيض المغنطيسي Φ هي الوبر ( فل . ث ) .

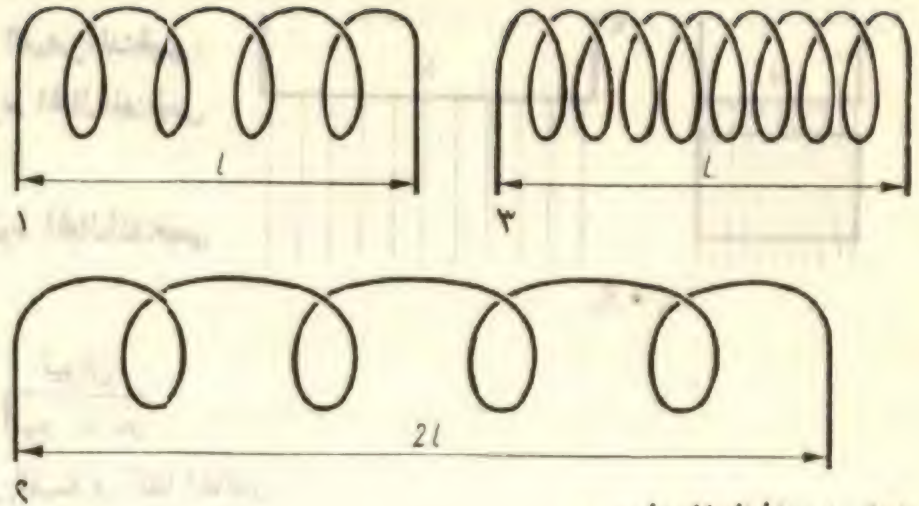


شكل ١١٩ :  
إيضاح شدة المجال  
المغناطيسي :

١ - ملف (١) من ٤  
لفات  $l = 1$

٢ - ملف (٢) من ٤  
لفات  $l = 2$

٣ - ملف (٣) من ٨  
لفات  $l = 1$



(٥) شدة المجال المغناطيسي :

يبين الشكل ( ٩٩ ) أن المجال المغناطيسي لكل من قضيب مغناطيسي وملف طويل يشبه كل منهما الآخر . ويمكن تحديد الحث المغناطيسي لكل منهما باستخدام أجهزة قياس مناسبة ( مثل المغنيطومتر ، وهو جهاز يستخدم لقياس شدة المجال المغناطيسي ) . والحث المغناطيسي هو كمية تعطى لإيجاد قيمة المجال المغناطيسي . ويمكن تعريف المجالات المغناطيسية الناتجة عن الملفات الحاملة للتيار بكمية أخرى على أساس العلاقة بين طول الملف وعدد لفيقات هذا الملف وشدة التيار الكهربائي المار عبره . ويبين الشكل ( ١١٩ ) ثلاث ملفات ، قطر لفاتها ومقاس سلكها ( مقطعه المستعرض ) تعتبر متساوية . وعليه فإنه يميز بينهما بعدد لفاتها ( ن ) وطول ملفاتها ( ل ) فقط .

أولا : تمرر تيارات مختلفة الشدة عبر الملف ( ١ ) . ويقاس الحث المغناطيسي  $F_m$  في كل حالة . وإذا أمررنا تيارا شدته أعلى ، يزداد الحث المغناطيسي كذلك . وعليه فإن :

$F_m \propto I$

وعندما تمرر تيارات لها نفس الشدة عبر الملف ( ١ ) أولا ، ثم عبر الملف ( ٢ ) ، فيبين تحديد الحث المغناطيسي في كل حالة أنه يتضاعف بمضاعفة عدد اللفات ، بينما يكون طول الملفين متساويا ، وعليه فإن :

$F_m \propto N$

وعندما تمرر تيارا له نفس الشدة ، أولا عبر الملف ( ١ ) ، ثم عبر الملف ( ٢ ) ، فإن هذه التجربة تبين أن قيمة الحث المغناطيسي في الملف ( ٢ ) الذي طوله ضعف طول الملف ( ١ ) ولها نفس عدد اللفات ، تكون نصف قيمة الحث المغناطيسي في الملف ( ١ ) . وهذا يعني :

$F_m \propto \frac{1}{l}$

وبإدماج هذه النتائج معا في تعبير واحد نحصل على ما يلي :  $F_m \propto \frac{N \times I}{l}$



ولكن المصطلح  $\frac{ت \times ن}{ل}$  هو تعبير نسبي للحث المغنطيسي ، ورمزه  $h$  (H) ، وعليه تكون شدة المجال المغنطيسي :

$$\frac{ت \times ن}{ل} = h$$

ونظرا لأن عدد اللفات  $ن$  هو عدد ليس له أبعاد ، تكون وحدة شدة المجال المغنطيسي (  $h$  )

$$\frac{مب}{م}$$

ويمكن تحديد كثافة المجال المغنطيسي بالحث المغنطيسي (  $ف$  ) مبرا عنه (  $\frac{وب}{م}$  ) ، أو بشدة

المجال المغنطيسي (  $h$  ) مبرا عنها (  $\frac{مب}{م}$  ) . وهاتان الكيتان تتناسبان مع بعضهما البعض .

( و ) النفاذية المطلقة للميز المطلق :

طبقا للشرح السابق ، يمكن كتابة التناسب  $ف \propto \frac{ت \times ن}{ل}$  بالصيغة التالية :

$$ف \propto (B) \propto h (H)$$

والتعبير عن هذه العلاقة بصيغة ، ندخل الثابت  $\mu_0$  وقيمه :

$$\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} \frac{فل . ث}{مب . م} = 1,256 \times 10^{-6} \frac{فل . ث}{مب . م}$$

وتساوى قيمة هذا الثابت « النفاذية المطلقة للميز المطلق » ويطلق عليها أيضا « ثابت المجال المغنطيسي » .

ومن هذا ينتج أن :

$$ف = \mu_0 h$$

ويعطى الطرف الأيسر من هذه الصيغة الوحدات التالية :

$$\frac{فل . ث}{مب . م} = \frac{فل . ث}{م} \times \frac{مب}{م} = \frac{وب}{م}$$

وهي نفس وحدة الحث المغنطيسي (  $ف$  ) .

( ز ) النفاذية النسبية :

ويطلق أيضا على النفاذية  $\mu$  التي كانت تسمى بالموصلية المغنطيسية « النفاذية المطلقة » .

ويعبر عادة عن نفاذية مادة كضاعف للنفاذية المطلقة للميز المطلق  $\mu_0$  ، وعليه فإن :



$$\mu = \mu_0 \times \mu \text{ نسبي}$$

حيث  $\mu_0$  نسبي هي النفاذية النسبية ، وهي عدد بدون أبعاد ، فثلا  $\mu$  نسبي للبرموث

هي ٠,٧٩٦ ،  
وعليه فان :

$$\mu = 1,256 \times 10^{-6} \times \frac{\text{فل. ث}}{\text{م. ث}} \times 0,796$$

$$= 0,9998 \times 10^{-6} \times \frac{\text{فل. ث}}{\text{م. ث}}$$

ويبين ذلك أن التناسب الطردى للحث المغنطيسي وشدة المجال المغنطيسي ( الشدة المغنطيسية ) ،  
يمكن التعبير عنه بطريقتين :

$$\text{ف} = \mu_0 \times \mu \text{ نسبي} \times \text{هـ} ، \text{أو} \text{ف} = \mu \times \text{هـ}$$

(ج) تطبيق قانون أوم على دائرة مغنطيسية :

من تعريف مفهوم النفاذية ، والحث المغنطيسي ، والفيض المغنطيسي ، والشدة المغنطيسية ،  
يمكن استخلاص علاقة تشابه قانون أوم في دائرة التيار المستمر .  
نعرف أن :

$$\text{ف} = \text{ج} \times \text{هـ} \text{ أيضا}$$

حيث  $\text{ج} =$  المساحة التي تمر بها خطوط الفيض .

$$\text{ف} = \mu_0 \times \mu \text{ نسبي} \times \text{هـ} \times \text{ج} = \text{ج}$$

$$\text{ج} = \frac{\text{ف}}{\mu_0 \times \mu \text{ نسبي}}$$

ويمكن أيضا كتابة ذلك كما يلي :

$$\text{ف} = \mu \times \frac{\text{ت} \times \text{ن}}{\text{ل}} \times \text{ج} \text{ وتحلل إلى}$$

$$= \frac{\text{ت} \times \text{ن}}{\text{ل}} : \frac{1}{\mu} \times \frac{1}{\text{ج}} \text{ وقرتب بالمينة التالية :$$

$$= \frac{\text{ت} \times \text{ن}}{\text{ل} \times \mu \times \text{ج}}$$

ويطلق على العلاقة  $\frac{\text{ل}}{\mu \times \text{ج}}$  المقاومة المغنطيسية (م) :

$$\text{وعليه فان : م} = \frac{\text{ل}}{\mu \times \text{ج}}$$



ويمكن أن نعتبر أن  $\mu = \frac{L}{J \times J}$  كما هو الحال في قانون المقاومة .

ويطلق على العلاقة : ( ت × ن ) « القوة الدافعة المغناطيسية الابتدائية » أو « الجهد المغناطيسي » . ويرمز للقوة الدافعة المغناطيسية الابتدائية بالرمز  $\Theta$  ( ثيتا ) ، وعليه ينتج أن :

$$\frac{\Theta}{\mu} = \Phi$$

وبالمناظرة مع قانون أوم في دائرة التيار المستمر نجد :

$$T = \frac{J}{M}$$

والقوة الدافعة المغناطيسية الابتدائية أهمية عملية في تصنيع المكثبات الكهربائية ، حيث نحصل على المجالات المغناطيسية من ملفات يكون عدد لفاتها هو العامل الأساسي المعول عليه . ووحدة القوة الدافعة المغناطيسية هي « الأمبير » . وفي بعض الأحيان تستعمل « أمبير لفة » كوحدة للقوة الدافعة المغناطيسية . ولا يمكن أن يستعمل التعبير « أمبير لفة » رياضيا في مجموعة الوحدات المستخدمة هنا .

٥/٩ - الملفات الحاملة للتيار بقلب حديدي :

( ١ ) المواد المغناطيسية الحديدية :

عند مناقشة الكيات اللازمة لتحديد المجال المغناطيسي ، شرحنا الموصلية المغناطيسية المسماة « نفاذية » . وفي هذا الشأن شرحنا العلاقة  $F = \mu H$  . وللاستطراد في شرح المغناطيسية ، يجب أولا أن نعطي بعض التفاصيل للمواد الدايا مغناطيسية والبارا مغناطيسية . وتكون قيمة  $\mu$  لعديد من المواد الدايا مغناطيسية والبارا مغناطيسية مساوية تقريبا للواحد الصحيح . وعلى أى الأحوال ، هناك مجموعة للمواد البارا مغناطيسية ، تزيد قيمة  $\mu$  فيها على واحد صحيح (  $\mu > 1$  ) بدرجة يمكن أخذها في الاعتبار في نطاق مدى معين لدرجة الحرارة . ويطلق على هذه المواد « مواد مغناطيسية حديدية » وتشمل الحديد والنيكل والكوبلت وسبائكها ، وسبائك الكروم والمنجنيز . وتميز المواد المغناطيسية الحديدية عن المواد الأخرى بأن نفاذيتها تعتمد على قيمة الشدة المغناطيسية  $H$  . وهذا يعنى أن نفاذية المواد المغناطيسية الحديدية تعتمد بدرجة ما على قيمة  $H$  خلال نطاق معين لهذه القيمة . ويعنى ذلك بالتالى أنه باستخدام المواد المغناطيسية الحديدية كوسط في المجال المغناطيسي ، فإن الحث المغناطيسي (  $F_M$  ) سيزداد مقابل زيادة طفيفة في شدة المجال المغناطيسي (  $H$  ) . وذلك بمعدل أعلى - اعتباريا - من المعدل الذى نحصل عليه في الهواء كوسط .

( ب ) التغمط ، والتشيع :

لتحديد قيمة الحث المغناطيسي لمجال مغناطيسي نتيجة لتأثير مغناطيسية حديدية ، تغمط هذه المادة مبتدئين بشدة مجال  $H = \text{صفر}$  . ونرسم القيم  $F_M$  التى نحصل عليها مقابل (  $H$  ) .



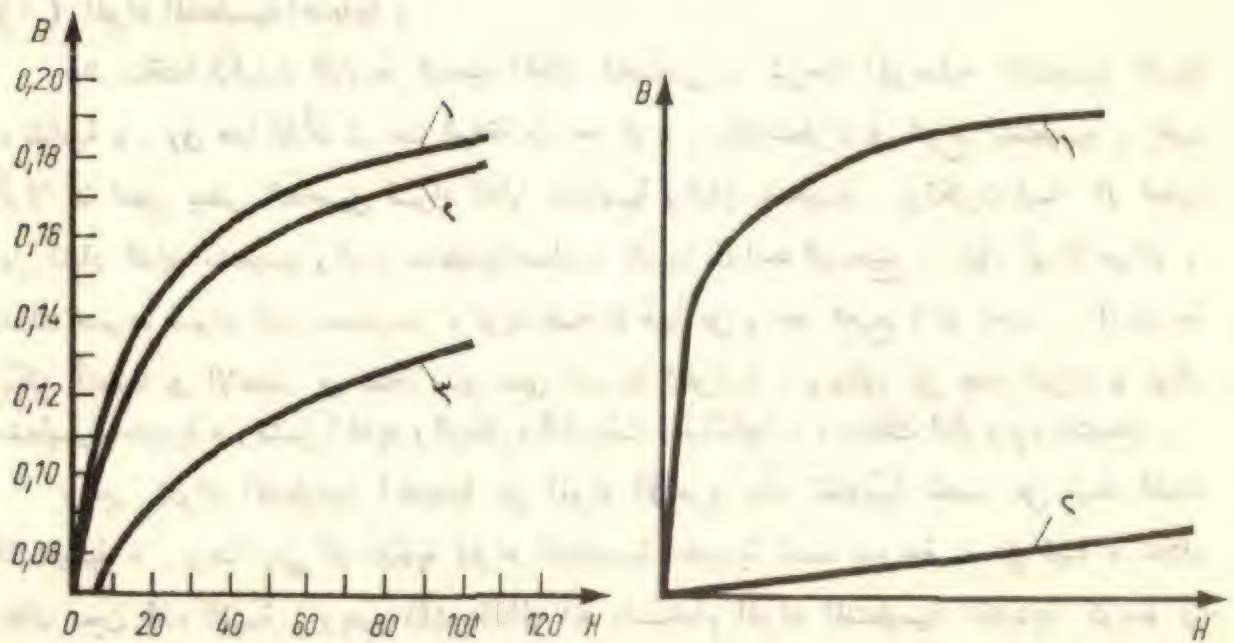
ينتج منحنى مميز للمادة المغنطيسية الحديدية المستعملة . ونحصل على القيم المختلفة ( هـ ) عمليا بزيادة شدة التيار ( ت ) باستمرار ، بينما يبقى عدد اللفات ( ن ) والطول ( ل ) ثابتين ، للملف المستخدم في التجربة .

ويبين الشكل ( ١٢٠ ) منحنى التمغنط لمادة مغنطيسية حديدية . والمقارنة نرسم قيم الحث المغنطيسي التي نحصل عليها في حالة استخدام الهواء كوسط .

وإذا وصلنا إلى قيمة معينة لشدة المجال المغنطيسي ، بعدها لا تزيد قيمة الحث المغنطيسي بزيادة شدة المجال ، وقد تكون الزيادة غير ملحوظة باستخدام مادة مغنطيسية حديدية كوسط . ومن هذه النقطة يبقى المنحنى ثابتا ، ويوضح هذا تشبع المغنطيس أو حد التشبع .

ويوضح الشكل ( ١٢١ ) منحنيات التمغنط لبضع مواد مغنطيسية حديدية مستخدمة في الهندسة الكهربائية . ويعبر عن ف بالوحدة  $\frac{\text{وبر}}{\text{متر مربع}}$  ،  $\left( \frac{\text{وب}}{\text{م}} \right)$  ، هـ بالوحدة  $\frac{\text{مب}}{\text{سم}}$

ويطلق على هذه المنحنيات في حالة المواد التي لم يسبق تمغنطها « منحنيات بكر » أو « منحنيات أولية » ويوضح ذلك فيما بعد :



شكل ١٢١ : منحنيات تمغنط :

١ - شريحة دينامو .

٢ - غلاف صلب .

٣ - حديد زهر .

شكل ١٢٠ : منحنى التمغنط لمادة مغنطيسية حديدية :

١ - منحنى لمادة مغنطيسية حديدية .

٢ - المنحنى الذي نحصل عليه باستخدام الهواء

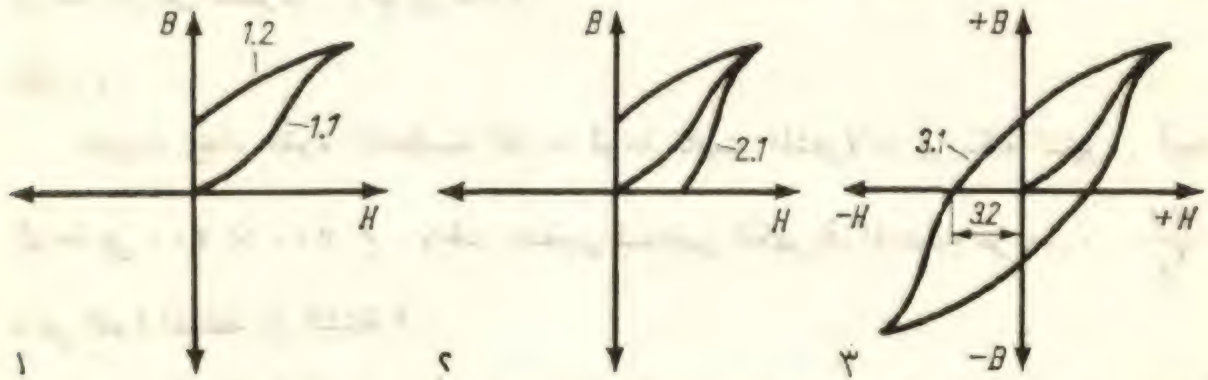
كوسط .



### (ج) التخلفية :

يوضح الشكل ( ١٢٢ - ١ ) طريقة التجربة التالية : تقطع عملية التمكنظ عند أى قيمة مناسبة للمنحنى الأولى ( ١ ، ١ ) - وتخفض قيمة شدة المجال المغنطيسى ( هـ ) باستمرار بخفض قيمة شدة التيار ( ت ) وتقاس قيم  $F_m$  فى كل حالة ، ويزيم القيم التى نحصل عليها مقابل قيم ( هـ ) على منحنى بيانى . يأخذ المنحنى مسارا آخر ( ١ ، ٢ ) ، أى تساوى الشدة المغنطيسية ( هـ ) صفرا ، عندما يكون الحث المغنطيسى  $F_m$  أعلى من الصفر .

وباستمرار عملية التمكنظ ، نحصل على منحنى التمكنظ ( ١ ، ٢ ) فى الشكل ( ١٢٢ - ٢ ) وهذا المنحنى يحدد أيضا عن المنحنى الأولى .



شكل ١٢٢ : تطور أنشطة التخلفية :

أنشطة التخلفية .

١,٣ - إستبقائية .

٢,٣ - قوة قهرية .

١ - ١,١ - منحنى أولى .

٢,١ - منحنى بعد التمكنظ العكسى .

٢ - ١,٢ - منحنى بعد التمكنظ مرة ثانية .

وبعكس اتجاه التيار تبدأ عملية الرجوع للتمكنظ ، وتسمى « تمغنظ عكسى » ، ونحصل على منحنى يطلق عليه أنشطة التخلفية . ويسمى تصرف المادة الذى يوضحه منحنى العلاقة ( ف - هـ ) « التخلفية » ، حيث لا ينطبق المنحنى الناشئ عن تخفيض ( هـ ) على ذلك الذى ينشأ بزيادتها ، ويعنى هذا المصطلح « يتخلف عن » . ونجد فى الجزء ( ١ ، ٣ ) للمنحنى فى الشكل ( ١٢٢ - ٣ ) ، أن قيمة الحث المغنطيسى (  $F_m$  ) لا تصل إلى الصفر ، إلا إذا وصلت قيمة الشدة المغنطيسية ( هـ ) إلى قيمة معينة فى عكس الاتجاه . ويسمى هذا الجزء من الحث المغنطيسى « المغنطيسية المتبقية » أو « الاستبقائية » . ( الفصل التاسع - البند الأول ) ، ويطلق على الشدة المغنطيسية ( هـ ) اللازمة لإزالة الاستبقائية « القوة القهرية » .

ويميز فى الهندسة الكهربائية بين المواد الصلدة والمواد الطرية مغنطيسيا . ويلزم للمواد الصلدة مغنطيسيا قوة قهرية أكبر لإزالة الاستبقائية ، بينما تحتاج المواد الطرية مغنطيسيا إلى قوة قهرية



أصغر . وتبعاً لذلك تكون أنشطة التخلفية للمواد المغناطيسية الصلدة ، أوسع اعتبارياً من تلك الخاصة بالمواد المغناطيسية الطرية .

#### (د) المغناطيسات الكهربائية :

تستخدم ملفات لها قلوب من مواد مغناطيسية حديدية كمغناطيسات كهربائية ، على هيئة مغناطيسات رفع ، كما في المغناطيسات المستعملة في المرحلات والملاصقات والقوابض المغناطيسية والصمامات المغناطيسية ، وهذا على سبيل المثال لا الحصر . ويصعب تحديد القوة الناتجة عن المغناطيس بدقة كافية .

وعموماً ، تستخدم في الحياة العملية طرق حسابية تعطى قيماً تقريبية ، ولكنها تضمن النتائج المرغوبة للفرض المطلوب . وفيما يلي مثالان :

#### مثال ١ :

مطلوب إيجاد القوة المغناطيسية اللازمة للوحة تثبيت المشغولات في مكينة تشغيل . أبعاد اللوحة هي  $200 \times 300$  مم . والحث المغناطيسي للمغناطيس الكهربائي المستخدم هو  $0,18 \frac{\text{وب}}{\text{م}}$  ما هي القوة المسلطة على الشغلة ؟

لتحديد هذه القوة لأقرب قيمة ، تستعمل الصيغة :

$$Q = \frac{F^2 \times J}{0,25}$$

حيث ج هي المساحة بالم<sup>٢</sup>

$$\text{معطيات : } F = 0,18 \frac{\text{وب}}{\text{م}}$$

$$J = \text{الطول} \times \text{العرض}$$

$$= 200,0 \times 300,0 = 60000 \text{ سم}^2$$

المطلوب : ق بالكيلو بوند ( كب )

الحل :

$$Q = \frac{60000 \times (0,18)^2}{0,25}$$

$$F = 78 \text{ كيلو بوند}$$

مثال ٢ : القوة الفعالة على الشغلة قدرها حوالى ٧٨ كيلو بوند

وتجذب أعضاء الإنتاج إلى المرحلات المستخدمة في هذسة المواصلات عند ١٠٠ ت × ن  
( أمير لفة ) عندما نحمل هذه المرحلات بتلامس تشغيل . إذا كان المطلوب جذب هذا المرحل  
عند جهد ج = ٢٤ فلت ومقاومة م = ١٠٠٠ Ω ، يمكن حساب عدد اللفات لهذا المرحل  
بالكيفية التالية :

$$ت = \frac{ج}{م} ، ت = \frac{٢٤ \text{ فلت}}{١٠٠٠ \Omega} ، ت = ٠,٢٤ ، \text{ أمير}$$

من ذلك يمكن حساب عدد اللفات من

$$ن = \frac{١٠٠ \text{ أمير لفة}}{٠,٢٤ \text{ أمير}} ، ن = ٤١٦٧ \text{ لفة}$$

ويجب إيجاد قيمة طول السلك طبقا لمقاس وشكل الملف ، مع أخذ المقاومة م = ١٠٠٠ Ω  
في الاعتبار . ويمكن بعد ذلك إيجاد قيمة مقطع السلك .





## الفصل العاشر

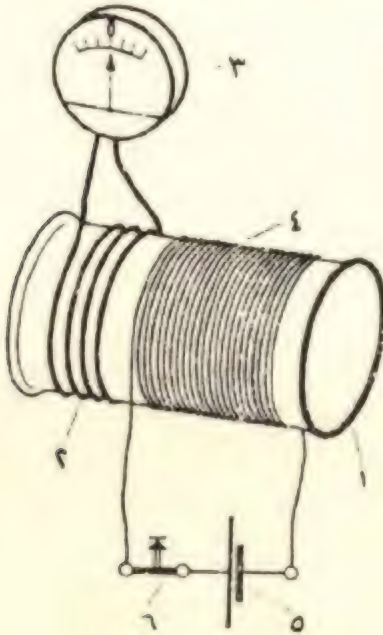
### الحث المغنطيسي الكهربائي

١٠/١ - اختبار فاراداي :

أدت أبحاث فاراداي ( ١٧٩١ - ١٨٦٧ ) إلى الاستخدام العالمي الواسع النطاق للكهرباء كطاقة نافعة للغاية يمكن توزيعها وتحويلها إلى أشكال أخرى منها بطرق بسيطة نسبياً دون أي فقد في الزمن عملياً .

بنى فاراداي دراساته لظاهرة الحث المغنطيسي الكهربائي ، على أساس أنه بالنسبة للشحنات الكهربائية المتحركة ، يمكن الحصول على ظاهرة مناظرة لظاهرة الحث الإستاتيكي ، حيث أمكن فصل الشحنات الكهربائية الإستاتيكية بعضها عن بعض ، وذلك بتقريب جسم مشحون إلى آخر غير مشحون .

يبين الشكل ( ١٢٣ ) الاختبار الذي أجراه فاراداي . تلف لفيفتان منفصلتان كهربائياً ، جنباً إلى جنب على اسطوانة مجوفة من ورق الكرتون . تتكون إحدى هاتين اللفيفتين من بضع لفات من سلك سميك ، يوصل طرفاه بجهاز قياس مزود بمؤشر يسمح له بالانحراف على تدريج تجاه أي جانب من جوانبه . وتتكون اللفيفة الثانية من عدة لفات من سلك رفيع يكون جزءاً من دائرة كهربائية تشتمل على مصدر للجهد ، ومفتاح كهربائي بذراع .



شكل ١٢٣ :

- ١ - اسطوانة مجوفة .
- ٢ - ملف عليه عدد من اللفات .
- ٣ - جهاز قياس .
- ٤ - ملف عليه عدد كبير من اللفات .
- ٥ - مصدر للجهد .
- ٦ - مفتاح كهربائي بذراع ( قاطع ) .



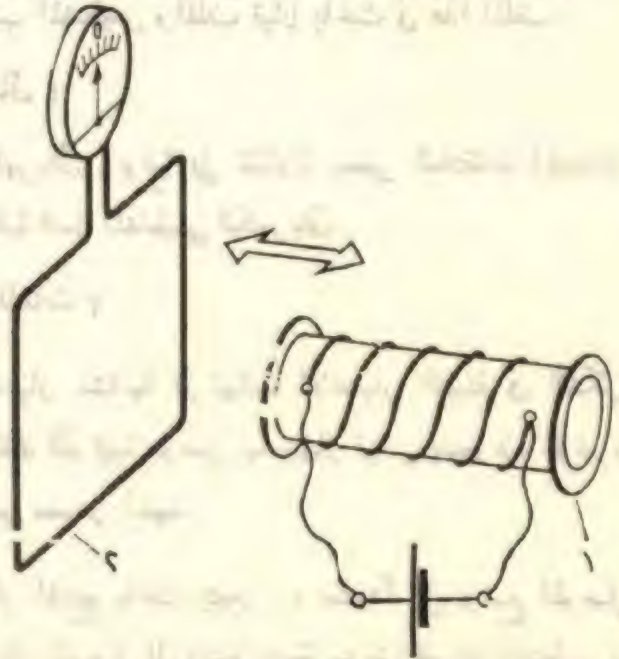
وهذا الشكل ، تشتمل ترتيبية الاختبار هذه على دائرتين ، تحمل إحداها تياراً يمر بصفة مستمرة فيها ، بينما لا تحمل الأخرى تياراً . فعند فصل الدائرة الكهربائية بتشغيل المفتاح الكهربائي ، ينحرف مؤشر جهاز القياس ، ثم يعود مرة ثانية إلى وضع الصفر . وعند قفل الدائرة الكهربائية ينحرف مؤشر جهاز القياس في الاتجاه عكسي لاتجاه انحرافه في الحالة الأولى ، ثم يعود مرة ثانية إلى وضع الصفر . وتعرف هذه الظاهرة كما يلي :

عند فصل أو قفل دائرة كهربائية ، يمر تيار كهربائي لوقت قصير ، خلال دائرة كهربائية مقفلة موضوعة بجوار الدائرة الكهربائية الأولى ، ويسمى هذا التيار « التيار المنتج بالحث » .

## ١٠/٢ - أشكال الحث المغنطيسي الكهربائي :

يبين الاختبار التالي ، المبين بالشكل ( ١٢٤ ) دراسة أكثر عمقا للحث المغنطيسي الكهربائي . فإذا عدلت ترتيبية الاختبار المبينة بالشكل ( ١٢٣ ) ، بحيث يوصل الملف مباشرة بمصدر الجهد ( بإخراج المفتاح الكهربائي من الدائرة الكهربائية ) ، مع ترتيب كلا الملفين بحيث يكونان قابلين للحركة ، يمكن ملاحظة الظاهرة التالية : عند تقريب ملف للآخر ( يمكن تحريك أى من الملفين ) ، ينحرف مؤشر جهاز القياس . وعند إبعاد الملفين عن بعضهما البعض ، ينحرف مؤشر جهاز القياس في اتجاه عكسي لانحرافه في الحالة الأولى ، وهذا يبين أنه ليس هناك حاجة إلى فصل أو قفل دائرة كهربائية لإنتاج تيار بالحث في دائرة كهربائية أخرى .

ولذلك تعرضت هذه الظاهرة لدراسات أكثر عمقا ، تستهدف بحث سبب حدوث نفس التأثير كما هو الحال في الاختبار الأول ، وذلك بتحريك الملفين بالنسبة لبعضهما البعض . وقطع الدائرة الكهربائية ليس هو السبب الوحيد لإنتاج تيار بالحث ، وإنما يصاحب قطع الدائرة الكهربائية تكوين مجال مغنطيسي حول الملف الحامل للتيار الكهربائي يؤدي إلى إنتاج تيار بالحث .

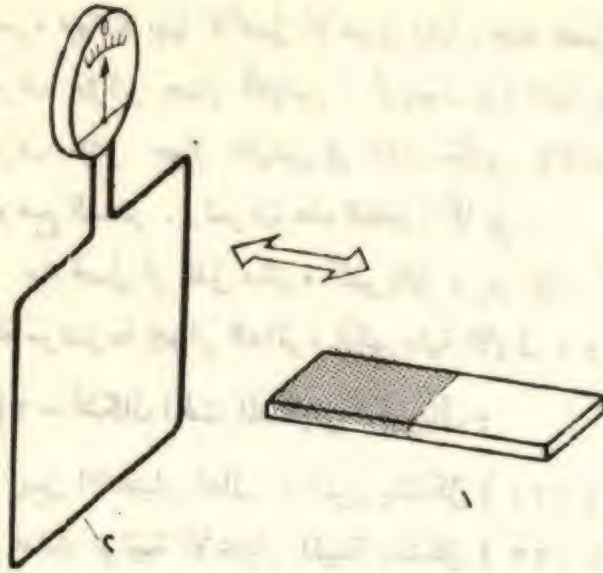


شكل ١٢٤ : الحث المغنطيسي الكهربائي في الملفات القابلة للحركة .

١ - ملف بمصدر للجهد ( ملف ابتدائي ) .

٢ - ملف بجهاز لقياس ( ملف ثانوي ) .





شكل ١٢٥ : الحث المغنطيسي الكهربائي

النتائج بواسطة قضيب مغنطيسي

١ - قضيب مغنطيسي .

٢ - ملف بجهاز قياس .

وفي الاختبار الأول ، يصاحب قطع الدائرة الكهربائية تلاشي المجال المغنطيسي ، بينما يصاحب قفل الدائرة الكهربائية تكوين المجال المغنطيسي . وفي هذا التفسير الأخير ، يؤثر قفل وفصل الدائرة الكهربائية في تغيير الفيض المغنطيسي من قيمة الصفر إلى قيمة الذروة ، ثم رجوعاً إلى قيمة الصفر . يمكن تفسير الحث المغنطيسي الكهربائي الناتج في الاختبار الثاني على هذه الأسس . فنتيجة لحركة الملفات تجاه بعضها البعض ، وبعبداً عن بعضها البعض ، يتغير الفيض المغنطيسي بحيث تمر خطوط فيض أكثر عبر الملف الثانوي ( الملف الموصل بجهاز القياس ) في الوهلة الأولى ، بينما تمر خطوط فيض أقل في الوهلة الثانية .

وعلى أساس هذه الاعتبارات ، أجريت أبحاث لمعرفة ما إذا كان تغير الفيض المغنطيسي لمغنطيس على هيئة قضيب ، يمكن أن يحدث نفس التأثير في الملف التأثيري ، الشكل ( ١٢٥ ) . وفي الحقيقة ، تنتج الحركة النسبية بين قضيب المغنطيس والملف تياراً بالحث في هذا الملف .

### ١٠/٣ - قواعد وقوانين الحث المغنطيسي الكهربائي :

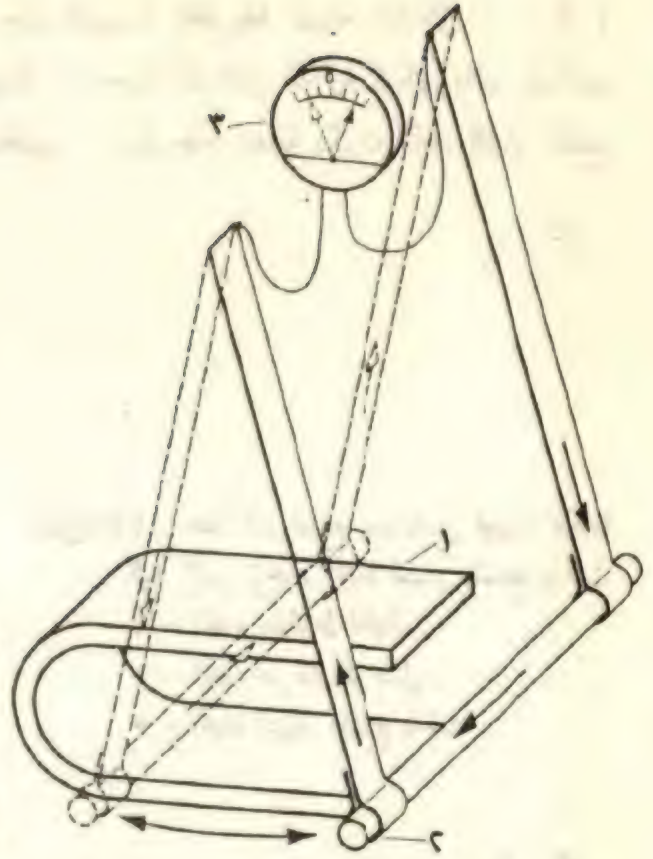
شرحنا فيما سبق ظاهرة الحث المغنطيسي الكهربائي . وفيما يلي نتناول بعض العلاقات المتبادلة بين التأثيرات المغنطيسية والكهربائية والميكانيكية للحث المغنطيسي الكهربائي .

#### ( ١ ) اتجاه التيار المنتج بالحث في الموصلات والملفات :

يبين الشكل ( ١٢٦ ) مثلاً لترتيبة اختبار مشابهة لترتيبات الاختبار المبينة في الشكل ( ١١٣ ) والشكل ( ١١٧ ) ، فيما عدا أن تلك الترتيبة موصل بها جهاز قياس ينحرف مؤشره تجاه أي جانب من جانبي التدرج ، وذلك بدلاً من مصدر الجهد .

يتبين من الشكل ( ١٢٦ ) ، أن اتجاه التيار المنتج بالحث يتغير ، معتمداً على وضع الموصل بالنسبة لمجال حدود الحصان المغنطيسي . فعند تحريك الموصل إلى داخل فتحة حدود الحصان المغنطيسي ،





شكل ١٢٦ : موصلات اختبار لاتجاه التيار  
المنتج بالحث .  
١ - مغناطيس على شكل حدوة حصان .  
٢ - موصل قابل للحركة .  
٣ - جهاز قياس .

يكون انحراف مؤشر جهاز القياس في اتجاه عكس اتجاهه عند سحب الموصل إلى خارج فتحة حدوة الحصان المغناطيسي . ويتضح من ذلك وجود علاقة بين اتجاه خطوط الفيض المجال المغناطيسي ، واتجاه حركة الموصل ( أو حركة المغناطيس ) ، واتجاه التيار المنتج بالحث . ويمكن التعبير عن هذه العلاقة كما يلي :

عند اختراق خطوط الفيض لراحة اليد اليمنى ، تشير أطراف الأصابع إلى اتجاه التيار المنتج بالحث ، بينما يبين إصبع الإبهام الممتد اتجاه الحركة ، الشكل (١٢٧) .

ويمكن بكيفية مشابهة تحديد اتجاه التيار المنتج بالحث في الملفات لهذا الغرض ( انظر الشكل ١٢٥ ) ، وبأخذ حالة حركة قضيب مغناطيسي كثال مبسط ، نجد أنه بتحريك قضيب المغناطيس تجاه الملف ، يكون اتجاه التيار المنتج في الملف ، عكس اتجاه التيار عند سحب قضيب المغناطيس بعيداً عن الملف .

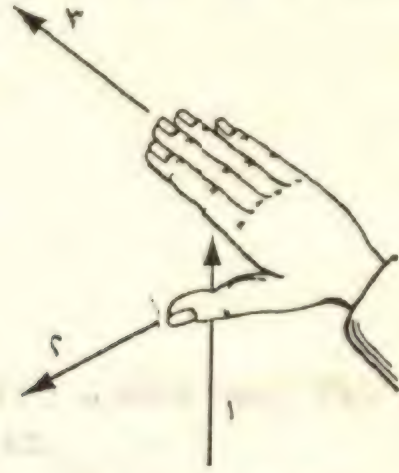
من هذا يستنتج ما يسمى بقاعدة عقرب الساعة ( الشكل ١٢٨ ) :

عند النظر إلى فتحة الملف في اتجاه خطوط الفيض ، يكون سريان التيار المنتج بالحث في اتجاه عكس عقارب الساعة إذا أثرت خطوط فيض أكثر على الملف ، بينما يكون سريانه في اتجاه عقارب الساعة إذا أثرت خطوط فيض أقل على الملف .

ويمكن أيضاً إيجاد التيار المنتج بالحث في دائرة كهربائية ابتدائية ، عند قفلها أو فصلها ، الشكل (١٢٣) .

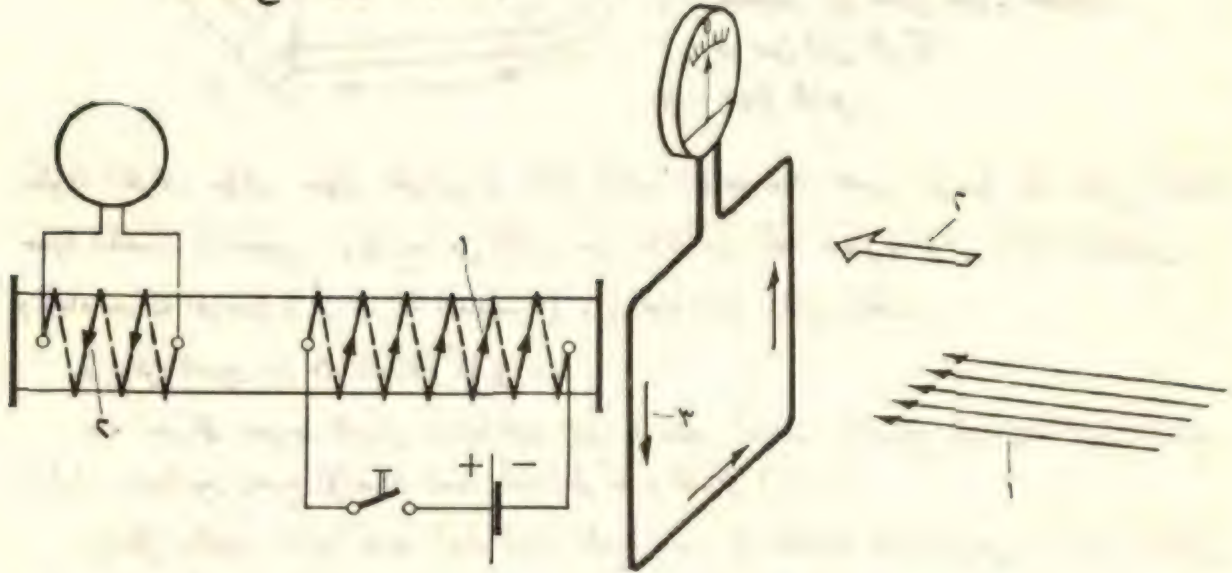


وعند الأخذ في الاعتبار قطبية ملف ( سبق تعيينها بالطريقة المبينة بالشكل ١٠٠ ) ، فإنه يمكن إيجاد اتجاه التيار المنتج بالحث بسهولة ، حيث أن قفل الدائرة الكهربائية يصاحبه زيادة في التيار ، ثم ازدياد في شدة الفيض المغنطيسي . وفي هذه الحالة يكون اتجاه التيار المنتج بالحث عكس اتجاه التيار الابتدائي .



شكل ١٢٧ : هذا التوضيح يساعد في تبين قاعدة اليد اليمنى لإيجاد اتجاه التيار المنتج بالحث

- ١ - اتجاه خطوط المجال .
- ٢ - اتجاه حركة الموصل .
- ٣ - اتجاه التيار المنتج بالحث .



شكل ١٢٨ : هذا التوضيح يساعد في تبين قاعدة عقارب الساعة لإيجاد اتجاه التيار المنتج بالحث

- ١ - اتجاه خطوط المجال .
- ٢ - اتجاه الحركة .
- ٣ - اتجاه التيار المنتج بالحث .

(ب) الحث المغنطيسي الكهربائي من الوجهة التنشيطية :  
 عند مناقشة تأثيرات التيار الكهربائي ( انظر القسم الأول ، الفصل الأول ) ، أعطينا بعض الملاحظات على نظرية بقاء الطاقة . وهنا نود أن نشير إلى العلاقة بين الحث المغنطيسي الكهربائي وبقاء الطاقة . ولتبيان هذه العلاقة نعطى الأمثلة التالية :

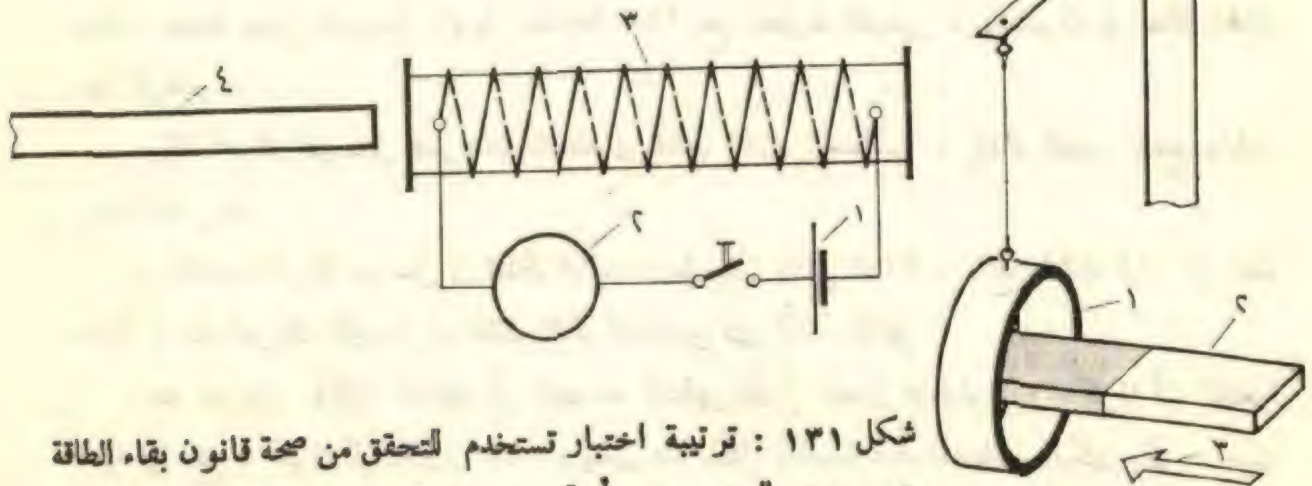


عند تعليق حلقة مقفلة من موصل ( مصنوعة من سلك نحاس ) ، بحيث تكون حرة الحركة ، ينتج فيها تيار بالحث إذا تحرك قضيب مغنطيسي بطريقة مناسبة للحلقة . وللظاهرة الآتية اهتمام خاص : عند تحريك قضيب المغنطيس إلى داخل حلقة الموصل ، تتحرك أيضاً الحلقة في اتجاه حركة قضيب المغنطيس ، وعند سحب قضيب المغنطيس من داخل الحلقة ، تتبع الحلقة أيضاً حركة قضيب المغنطيس ( الشكل ١٣٠ ) .

ويتضح من هذا أن مثل هذا المجال المغنطيسي ، المميز باتجاه التيار المنتج بالحث ، والذي يصاد التغير في الفيض المغنطيسي ، المميز بحركة قضيب لمغنطيس ، ينتج في نطاق حلقة الموصل . ويمكن افتراض أن الحركة المتتابة لحلقة الموصل تكتب حركة قضيب المغنطيس ( عندما تتحرك الحلقة وقضيب المغنطيس في نفس الاتجاه ، يكون معدل حركة المغنطيس بالنسبة للحلقة أقل منها عندما تكون الحلقة مثبتة ) . وفي مثل هذه الترتيبة ، إذا ظهر رد الفعل المعكوس على التغير في الفيض المغنطيسي ، أي إذا أدى المجال المغنطيسي للتيار المنتج بالحث إلى تغير في الفيض المغنطيسي لقضيب المغنطيس ، فيمكن توليد أي كمية من الطاقة الكهربائية بواسطة كمية مبدئية صغيرة منها . وهذا لا يطابق قانون بقاء الطاقة . والشكل ( ١٣١ ) يبين ترتيب اختبار أخرى تعطى البرهان على صحة قانون بقاء الطاقة ، وفي هذا الاختبار تقاس شدة التيار في وجود الحث المغنطيسي .

شكل ١٣٠ : الحث المغنطيسي الكهربائي وأهدافه التنشيطية

١ - حلقة الموصل . ٢ - قضيب مغنطيسي . ٣ - اتجاه الحركة .



شكل ١٣١ : ترتيب اختبار تستخدم للتحقق من صحة قانون بقاء الطاقة

١ - مصدر للجهد . ٢ - أميتر . ٣ - ملف . ٤ - قضيب مغنطيسي .

يوضع قضيب مغنطيس أمام ملف ، بحيث يسحب المغنطيس إلى داخل الملف وذلك بتأثير القطب المواجه للملف ، وبفرض أن المسافة بين الملف وبين القضيب تكون صغيرة بقدر كاف ، تخيل الآتي :



بعد وقت معين يفرغ مصدر الجهد ، ويعتمد هذا التصريح إلى حد كبير على قيمة مقاومة الملف الذى تتحول فيه الطاقة الكهربائية  $T \propto M \times Z$  إلى حرارة . وعند تقريب المغنطيس للملف ، فإنه يصل إلى مسافة يجذب منها ، ويسحب إلى داخل الملف . ومن المؤكد تماماً فى هذه الحالة ، أن هناك شغلا قد بذل مع التجاذب . فإين بذل هذا الشغل ؟

فى الطبيعة وفى المفهوم المادى ، لا يبذل الشغل دون مكافئ . ومن هذا ينتج أنه فى اللحظة التى يسحب فيها المغنطيس إلى داخل الملف ، تنخفض الكمية الإجمالية للطاقة المحولة إلى حرارة بما يساوى هذا الشغل ، ويجب ملاحظة أن مقاومة الملف  $M$  ، تبقى ثابتة بحيث يمكن تغيير شدة التيار فقط . وعليه ، فيفترض أنه عند لحظة التجاذب ، تنخفض شدة التيار المار عبر الملف ، لى تتحول كمية أقل من الطاقة إلى حرارة . وفى الواقع ، ينتج المغنطيس جهداً بالحث فى الملف أثناء سحبه إلى داخله ، ويضاد التيار المنتج بالحث ، التيار الابتدائى فى الملف مسبباً كبتة ، وبالتالي خفضه ، وذلك نتيجة لعكس اتجاه السريان . ويمكن التأكد من ذلك بقراءة الأميتر فى اللحظة التى يجذب فيها الملف المغنطيس .

ولقد درس عالم الطبيعيات الروسى لينز Lenz ( ١٨٠٤ - ١٨٦٥ ) العلاقات بين الحث المغنطيسى الكهربائى وبقاء الطاقة : ويمكن تعريف هذه العلاقة كما يلي :

يضاد اتجاه التيار المنتج بالحث دائماً الحركة أو الفيض المغنطيسى المتغير المتولد عنه .

١٠/٤ - العلاقات بين المغنطيسية والكميات المنتجة بالحث :

من الترتيبة المبينة فى الشكل (١٢٦) يمكن استنتاج الآتى :

عند تحريك الموصل فى اتجاه خطوط الفيض ، لا ينتج تيار الحث . بينما ينتج أعلى تيار بالحث عندما يعمل الموصل زاوية مقدارها  $90^\circ$  مع خطوط الفيض ، ويتحرك فى نطاق المجال بهذا الوضع .

وإذا تحرك الموصل بسرعات مختلفة فى نطاق المجال المغنطيسى ، يزداد التيار المنتج بالحث بزيادة السرعة .

وبالنسبة لحركة موصل فى نطاق مجالين مغنطيسيين مختلفى الشدة ، ينتج بالحث تيار ذو شدة عالية ، عند تحريك الموصل فى نطاق المجال المغنطيسى ذو الشدة الأعلى .

عند تعريف فكرة الفلطة أو الجهد الكهربائى ( الفصل الثالث ) ، ذكرنا أن الفلطة تشبه قوة دفع ، تحرك الإلكترونات . ويطبق هذا بالمثل بالنسبة للحث المغنطيسى الكهربائى ، حيث تزود الإلكترونات الحرة الحركة فى الموصل بقوة دافعة تسبب حركتها . ولقد أوجز فاراداي هذه الظاهرة فى قانون الحث كما يلي :

تنتج بالحث قدرة دافعة كهربائية ابتدائية فى موصل ، بتغير الفيض المغنطيسى المحيط به . وهنا يعطى تعريف أكثر دقة للفيض المغنطيسى المذكور فى القسم الأول ، الفصل الرابع وهو :



تكون قيمة شدة الفيض المغنطيسي مساوية و بر واحد ، إذا أنتج بالحث جهدا قيمته قلط واحد  
 في لفيفة حوله ، ويتناقص هذا الجهد بانتظام إلى قيمة الصفر ، وذلك خلال زمن قدره ثانية واحدة ،  
 وعندما نرمر للقوة الدافعة الكهربائية الابتدائية المنتجة بالحث بالرمز ج ١ ، يمكن وضع  
 العلاقة التالية :

في فترة صغيرة من الزمن  $\Delta$  ز ( دلتا ز ) ، ينتج لتغير  $\Phi \Delta$  في الفيض المغنطيسي المحيط  
 بلفيفة ، قوة دافعة كهربائية ج ١ فيها ، وعليه :

$$\frac{\Phi \Delta}{\Delta ز} = ج ١$$

ولعدة لفيفات محاطة بفيض مغنطيسي  $\Phi$  ، تطبق العلاقة التالية :

$$ج ١ \times \frac{\Phi \Delta}{\Delta ز} = ن$$

حيث ن هي عدد اللفيفات .

ومن هذا يمكن استنتاج علاقة أخرى تربط بين الحث لمغنطيسي ف م ، وطول الموصل الفعال  
 ( ل ) والسرعة ( ع ) ، وهي :

$$\frac{\Phi \Delta}{\Delta ز} = ف م \times ل \times ع$$

يعني هذا أن القوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث تساوى حاصل ضرب الحث المغنطيسي  
 وطول الموصل والسرعة التي يتحرك بها الموصل في المجال المغنطيسي . وعلى هذا ، فن العلاقاتين  
 السابقتين نحصل على العلاقة التالية :

$$ج ١ = ف م \times ل \times ع$$

مثال :

إذا كان الطول الفعال لموصل هوائي لطائرة نفائة هو ٣٠ متر . وكانت الطائرة تتحرك عمودياً  
 على خطوط الفيض للمجال المغنطيسي للأرض الذي حثه المغنطيسي ف م = ١٠ × ٤,١ - ٥  $\frac{\text{فل ث}}{\text{م}}$  ،  
 وبسرعة ١,٠٨٠ كيلومتر/ساعة ، فا القوة الدافعة الكهربائية ج ١ المنتجة بالحث في هذا الهوائي ؟  
 ( الشكل ١٣٢ )

$$\begin{aligned} \text{المعطيات : } ف م &= ١٠ \times ٤,١ - ٥ \frac{\text{فل ث}}{\text{م}} \\ ل &= ٣٠ \text{ متر} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{ع} &= 1,080 \text{ كيلومتر/ساعة} \\ \text{ع} &= 300 \text{ متر في الثانية} \end{aligned}$$

المطلوب : ج ١

الحل :

$$\text{ج ١} = \text{ف} \times \text{ل} \times \text{ع}$$

$$= 4,1 \times 10^{-5} \times 30 \times 300$$

$$= 0,36 \text{ فلت} = 360 \text{ ملي فلت}$$

القوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث في الهوائي هي ٣٦٠ ملي فلت .  
وإذا كان الموصل مكونا من عدة لفات ، تستخدم العلاقة التالية :

$$\text{ج ١} = \text{ف} \times \text{ل} \times \text{ع} \times \text{ن}$$

مثال :

لمولد تيار مستمر قطبان مغنطيسيان بطول ٢٥ سم وبعرض ٣٠ سم ، والحث المغنطيسي

للمجال المغنطيسي لهذين القطبين هو ١,٢  $\frac{\text{فلت}}{\text{م}} .$  يعمل في هذا المجال عضو إنتاج له ١٠٠ لفة  
بسرعة ٩٦٠ دورة في الدقيقة . ما القوة الدافعة الكهربائية ج ١ المنتجة في هذا المولد ؟

$$\text{المعطيات : ف} = 1,2 \frac{\text{فلت}}{\text{م}}$$

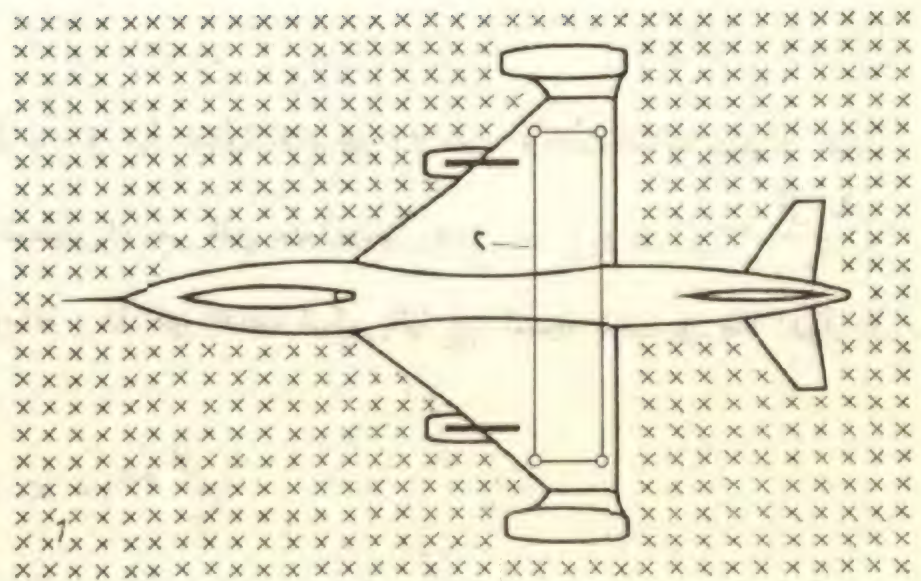
$$\text{ل} = 25 \text{ سم}$$

$$\text{ض} = 30 \text{ سم}$$

$$\text{ع} = 960 \text{ دورة في الدقيقة}$$

$$\text{ن} = 100 \text{ لفة}$$

المطلوب : ج ١



شكل ١٣٢  
حث لفطية (ج)  
في هوائي  
١ - المجال المغنطيسي  
للأرض .  
٢ - الطول الفعال  
للموصل .

الحل :

عند سرعة ٩٦٠ دورة في الدقيقة ، يمر الطول الفعال لموصل وهو ٢٥ سم بين قطبين عرض كل منهما ٣٠ سم وذلك بمعدل ١٦ مرة كل ثانية ، ومن هذا ينتج أن السرعة

$$ع = ٢ \times ١٦ \times ٠,٣٠ \frac{\text{متر}}{\text{ثانية}} \text{ وعلى ذلك :}$$

$$١ج = ف \times ل \times ع \times ن .$$

$$= ١,٢ \times ٠,٢٥ \times ٢ \times ١٦ \times ٠,٣٠ \times ١٠٠$$

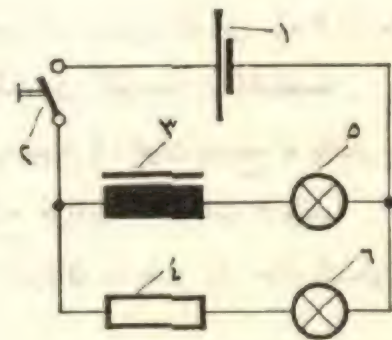
$$= ٢٨٨ \text{ فلت}$$

ينتج بالحث في هذا المولد قوة دافعة كهربائية قيمتها ٢٨٨ فلت .

١٠/٥ - الحث الذاتي :

تبين ترتيب الاختبار المبينة في الشكل ( ١٣٣ ) كيفية تصرف ملف بقلب حديد في دائرة كهربائية ، وذلك عندما يوصل التيار إليها ويفصم عنها . وتكون قيم مقاومة الملف والمقاومة الأومية الموصلة في الدائرة الكهربائية متساوية . فعندما تشغل هذه الترتيب ، يومض المصباح المتوهج الموصل على التوالي مع الملف متأخراً بعض الوقت عن المصباح المتوهج الموصل على التوالي مع المقاوم . وطبقاً لقانون لينز ، ينتج تيار بالحث ، يكون اتجاهه عكس اتجاه التيار الموجود عندما تقفل الدائرة الكهربائية ( وهذا يعني أيضاً ازدياد شدة المجال المغنطيسي للملف ) . وعندما يصل الجهد وشدة التيار إلى قيمة معينة ؛ أي إذا لم يتغير الفيض المغنطيسي مرة ثانية ، يخبو هذا الحث . ويسمى الحث المغنطيسي الكهربائي المسبب عن قوة دافعة كهربائية إضافية في الملف ، والتأثير الواقع على هذا الملف « الحث الذاتي » .

ويمكن ملاحظة الحث الذاتي المسبب عن قوة دافعة كهربائية عندما تفصم دائرة كهربائية ، وذلك بمساعدة ترتيب كما هو مبين بالشكل ( ١٣٤ ) .

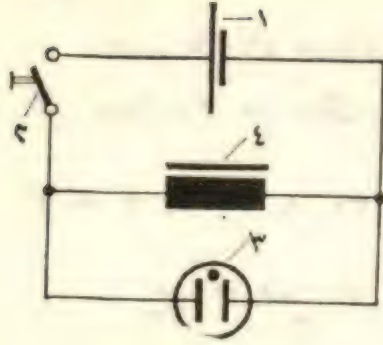


شكل ١٣٣

تصرفات ملفات بقلوب حديد في دائرة كهربائية

- |                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| ١ - مصدر الجهد .    | ٤ - مقاومة أومية . |
| ٢ - مفتاح كهربائي . | ٥ - مصباح ١        |
| ٣ - ملف بقلب حديد . | ٦ - مصباح ٢        |





شكل ١٣٤ : تصرف ملفات بقلوب حديد عندما تقطع الدائرة الكهربائية .

١ - مصدر للجهد (حوالي ٢ فولت) .

٢ - مفتاح كهربائي .

٣ - مصباح كهربائي مقنن جهده ج = ١١٠ فولت .

٤ - ملف بقلب حديد (حوالي ١٥٠٠ لفه) .

فعندما تشغل هذه الترتيبية ، لا يمكن ملاحظة أى شيء من الخارج ، وإنما يمكن فقط إثبات سريان تيار كهربائي في هذه الدائرة الكهربائية . ولهذا الغرض يمكن استخدام أميتر أو إبرة مغناطيسية . فعند فصل هذه الدائرة الكهربائية ، يومض المصباح المتوهج للحظة ، وهذا يعنى أن الجهد قد وصل إلى قيمة قدرها ٥٠ مرة أعلى من قيمة الجهد المقنن . ويمكن شرح هذه الظاهرة كما يلي :

عند فصل الدائرة الكهربائية ، يبطل مفعول المجال المغناطيسي للملف ، وعند الأخذ في الاعتبار التيار المنتج بالحث الذاتي ، نجد أن القوة الدافعة الكهربائية المسببة له ، تمارس تغييراً في الاتجاه الذى أصبح عكس اتجاه القوة الدافعة الكهربائية لسابقة الناتجة بالحث ، وعليه يكون له الاتجاه نفسه كاتجاه التيار الموجود .

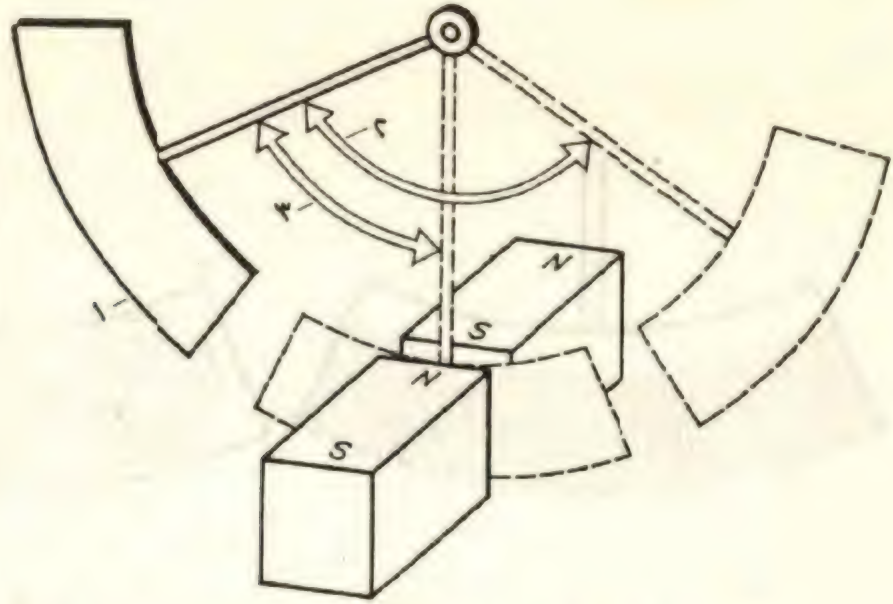
وعادة ، تسمى الملفات بقلوب حديد ، أى الملفات التى لها محاطة ، « ملفات المحاطة » . ولتصرف هذه الملفات أهمية في دوائر التيار المتردد ذات التردد العالى والمنخفض ، وسيناقش ذلك فيما بعد .

#### ١٠/٦ - الحث المغناطيسي الكهربائي في الموصلات المفلطحة :

فيما سبق تناولنا بالبحث الحث المغناطيسي الكهربائي في الملفات والأسلاك المستقيمة . ولتصرف الموصلات المفلطحة بالنسبة للحث المغناطيسي الكهربائي أهمية لا تقل عن أهمية تصرف الموصلات والأسلاك المستقيمة بالنسبة للهندسة الكهربائية . ومن الشكل (١٣٠) ، نستخلص أن التيارات ذات الشدة العالية نسبياً تنتج بالحث في حلقات موصلات مقفلة (ويمكن الاستدلال على ذلك من حركة حلقة السلك التى تتبع حركة قضيب المنطيس) . ويبين الشكل (١٣٥) مثالا لاختبار يعطى معلومات تتعلق بتصرف التيارات المنتجة بالحث في الموصلات المفلطحة . يعلق قطاع من الألومنيوم (يمكن أيضاً استخدام معدن آخر غير الألومنيوم) ، بحيث يسمع له بالتأرجح . وحركة البندول هذه التى يحدثها قطاع الألومنيوم المعلق ، تتبع قوانين التذبذبات التوافقية . فإذا تأرجح هذا البندول (قطاع الألومنيوم) خلال مجال مغناطيسي ، فسرعان ما يصل إلى حالة السكون ، ويتوقف ذلك على شدة هذا المجال .



وسبب توقف التذبذبات سريعاً عندما يدخل البندول المجال المغنطيسي ، هو ظهور تيارات  
منتجة بالحث ، تكون مجالاتها المغنطيسية موجهة بطريقة تعوق هذه الحركة ، وعلى ذلك فهي  
تتبع قانون لينز .



شكل ١٣٥ : الحث المغنطيسي الكهربائي في ألواح الموصل .  
١ - بندول من الألومنيوم .  
٢ - تذبذبات في الهواء الطلق  
٣ - تذبذبات خلال مجال مغنطيسي .

يبين الشكل (١٣٦) مثالا لتوزيع مسارات التيار في الموصل المفلطح ، ومن الواضح أن هذه  
المسارات تكون مقفلة . وتسمى التيارات المنتجة بالحث في الموصلات المفلطحة « التيارات الدوامية » .

وحيث أن للتيارات مسارات مقفلة فإن هذه التيارات تولد كمية لا بأس بها من الحرارة  
في الموصل . وفي حالات كثيرة ، تكون هذه الحرارة غير مرغوب فيها في المكونات والأجهزة  
الكهربائية . والشكل (١٣٧) يبين كيفية تجنب هذه التيارات الدوامية في الموصلات المفلطحة ،  
وذلك بتزويد الموصلات بمثقيبات ضيقة .

وعندما يسمح لمثل هذا الموصل المثقوب بالتأرجح خلال مجال مغنطيسي ، يتوقف الموصل  
بعد فترة . ويكون تأثير الفرملة ، وبالتالي تكون التيارات الدوامية ، قد منعت بدرجة كبيرة .

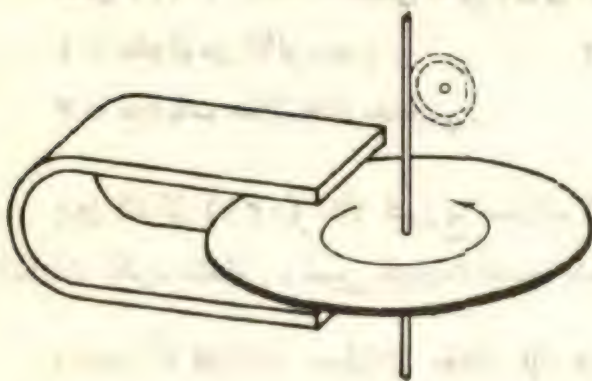
على أنه يمكن أيضاً كبح التيارات الدوامية بطريقة أخرى ، بدلا من استخدام موصل مفلطح  
ذو سمك معين فيمكن وضع عدة موصلات رفيعة معزولة فوق بعضها البعض لتكون موصلات  
بالسمك المعين المطلوب .





شكل ١٣٧ : لوح موصل مشقوب

شكل ١٣٦ : مرور تيار في ألواح الموصل



شكل ١٣٨ : مضادة تيار دوامى  
تستخدم في عداد كهربائى

تلعب هاتان الإمكانيتان لمضادة التيارات الدوامية دوراً هاماً في الهندسة الكهربائية .  
في المكونات الثابتة والدوارة ، تعمل أكوام من رقائق الدينامو خصيصاً للقلوب . « ورقيقة الدينامو »  
التي تعرف أيضاً « كرقيقة قلب » ، هي عبارة عن معدن مغنطيسى طرى ، يعزل من جاذب واحد ،  
بطرق كيميائية كهربائية ( وأحياناً بتبطينها بالورق ) .

وفي الهندسة الكهربائية ، تستخدم التيارات الدوامية للمضادة ، خصوصاً في تقنيات  
الاختبار والقياس ، وتختبر عادة مقدرة المحركات الكهربائية على بدء الحركة بواسطة فرامل  
التيار الدوامى ، ويبين الشكل (١٣٨) ترتيباً لمضادة تيار دوامى تستخدم في عداد كهربائى .

## الفصل الحادى عشر

### تأثيرات المجالات الكهربائية

١/١١ - المجالات المتدفقة المتجانسة وغير المتجانسة :

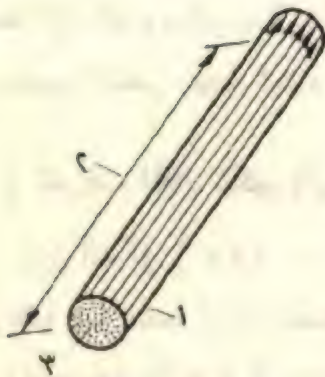
فيما يتعلق بأبحاث الشحنات الكهربائية الاستاتيكية ، ذكرنا أنها تلتصق بالأسطح ، وهي قادرة على الشحن بالحث . وللاستطراد فى شرحنا ، نفترض وجود ظاهرة تصاحب الشحنات الكهربائية المتحركة والتيار الكهربائى تشبه الظاهرة التى تصاحب المجالات المغنطيسية . وهناك تمييز بين المجالات الكهربائية فى الموصلات وفى غير الموصلات .

المجال المتدفق المتجانس فى موصل :

يقال عن التيار الكهربائى ، أنه حركة إلكترونات فى اتجاه مفضل . ويمكن أن يكون الحيز الذى تحدث فيه هذه الحركة ، قطعة من السلك ، كما هو مبين بالشكل ( ١٣٩ ) . وعادة يسمى الحيز الذى تحدث فى نطاقه ظاهرة كهربائية « المجال الكهربائى » . وعندما تحدث ظاهرة كهربائية فى موصل حامل للتيار ، فإننا نتكلم ، فى هذه الحالة ، عن مجال كهربائى متدفق . وتبين الممرات التى تتخذها الإلكترونات ، الخطوط الكهربائية للقوة ، واتى عبر عنها فى الشكل ، بخطوط متقطعة ، لتمييزها عن الخطوط المغنطيسية للفيض .

فإذا كان الموصل من النوع المستقيم ، ومساحة مقطعه المستعرض منتظمة ، تكون الخطوط الكهربائية للقوة متوازية بعضها مع بعض . ويمكن تعيين قيمة جهد ج ، مسلط على هذا الموصل ، لأى مقطع طولى ل منه . وتسمى النسبة بين الجهد المسلط وبين طول الموصل « الشدة الكهربائية » ش ، وعليه فإن :

$$ش = \frac{ج}{ل}$$



شكل ١٣٩ : مجال كهربائى متجانس متدفق فى موصل

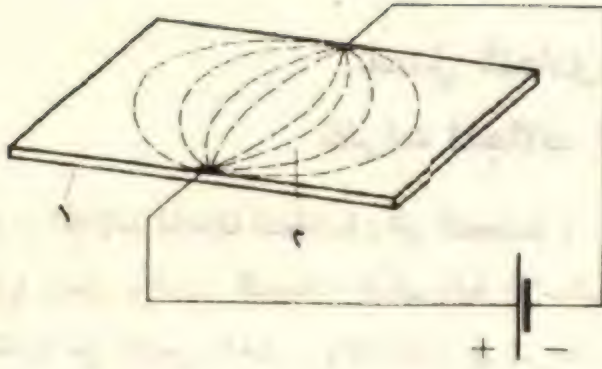
من الطراز المستقيم .

١ - موصل .

٢ - طول من الموصل .

٣ خطوط المجال الكهربائى .





شكل ١٤٠

شكل المجال في موصل من الطراز اللوح

١ - موصل من الطراز اللوح .

٢ - مجال غير متجانس متدفق .

المجال المتدفق غير المتجانس في موصل :

عندما يسرى تيار كهربائي خلال موصل من نوع اللوح ، فإن مسارات الممرات التي تتخذها الإلكترونات ، وبالتالي مسار خطوط القوة ، تكون غير مستقيمة تماماً ، وإنما تشبه تقريباً التشكيل المبين في الشكل (١٤٠) .

يوصل اللوح الموصل ، وهو لوح معدني في هذه الحالة ، بدائرة كهربائية . وبالنسبة للمسار الذي تتخذه خطوط لقوة ، يمكن النص على ما يلي :

تمتد الخطوط الكهربائية للقوة من القطب الموجب إلى القطب السالب .

وتميل خطوط القوة للسير كل على حدة في المجال غير المتجانس ، وهذه الحقيقة يمكن وصفها كما يلي :

تبذل قوة شد في اتجاه خطوط القوة ، بينما تبذل قوة ضغط عمودية على خطوط القوة .

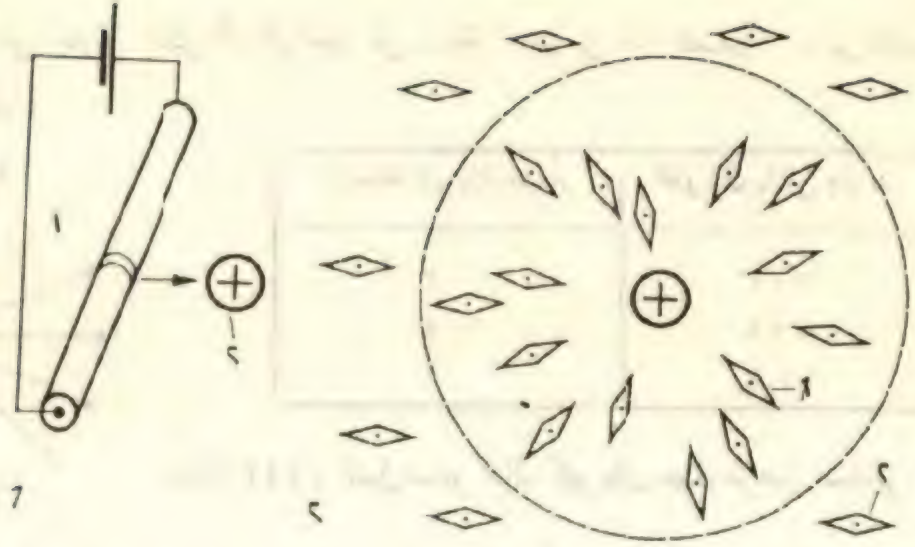
#### ١١/٢ - المجالات الكهربائية في غير الموصلات :

يمكن تتبع المجالات الكهربائية المتدفقة في الموصلات ، بسهولة ، وذلك بواسطة جهاز بيان كهربائي . وعلى كل ، فإنه من المفيد إيجاد ما إذا كان ما يحيط بالموصل الحامل للتيار يمارس أفعال قوة مشابهة لتلك التي تصاحب الشحنات الكهربائية الأستاتيكية ، والتي يمكن استبيانها بواسطة الإلكتروسكوب ( المكشاف الكهربائي ) . ويجب إبعاد أطراف توصيل الإلكتروسكوب عن بعضهما البعض خلال شحنه ، لتجنب فعل القوة .

#### ( ١ ) تعريف المجال الكهربائي في غير الموصل :

يبين الشكل ( ١٤١ - ١ ) مثالا لمقطع مستدير من موصل مستقيم ، يفترض قطعه من دائرة كهربائية . وعندما ترتب قصاصات صغيرة من الورق حول هذا المقطع ، بحيث تكون حرة الحركة ، فإنها تتجه تجاه الموصل في حدود مسافة معينة ف من مقطع الموصل ( الشكل ١٤١ - ٢ ) .





شكل ١٤١ : تمثيل مجال كهربائي في غير موصل

(١) (٢)

- ١ - دائرة .
- ٢ - مقطع مستدير من الموصل .
- ١ - قصاصات من الورق بنضبط اتجاهها بواسطة خطوط القوة .
- ٢ - قصاصات من الورق خارج نطاق تأثير المجال الكهربائي .

وتتجه قطع الورق الصغيرة التي لم تتجه في بادئ الأمر في هذا الاتجاه المفضل ، تجاه الموصل عندما يسمح بمرور تيار كهربائي فيه . وتكون قصاصات الورق التي لا تتجه في هذا الاتجاه ، خارجة عن نطاق تأثير القوة التي يبذلها المجال الكهربائي حول الموصل الحامل للتيار .

وبرسم خط يصل بين أطراف قصاصات الورق ومركز مقطع الموصل ، يمكن الحصول على تمثيل مستو لمجال كهربائي ( الشكل ١٤٢ ) .

ويكون الحيز المحيط بجسم مشحون كهربائياً ، هو المجال الكهربائي .

ويقال لمجال كهربائي أنه موجود في نقطة ما ، إذا بذلت قوة من أصل كهربائي على أي جسم مشحون موضوع في هذه النقطة .

### قانون كولوم :

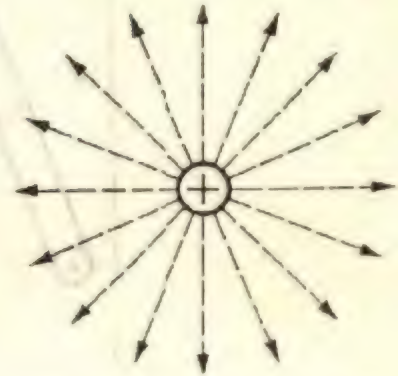
إذا أجرى اختبار معمل بسيط ، للتأكد من وجود قوة يبذلها جسم على جسم آخر ، فيبين هذا الاختبار أن لهذه القوة قيمة أعلى ، عند أي نقطة قريبة من مصدر المجال الكهربائي ، من قيمتها عند أي نقطة على مسافة بعيدة من هذا المصدر . وقد بحث كولوم ( ١٧٣٦ - ١٨٠٦ ) هذه العلاقات المتبادلة ، وأوضح ما يعرف في أيامنا هذه « بقانون كولوم » .

فإذا قيل مثلاً ، أن قوة مقدارها ١٠٠ ملي باوند موجودة في نقطة على مسافة ٢ سم من مصدر المجال الكهربائي ، فإن قوة مقدارها ٢٥ ملي باوند يمكن أن توجد على مسافة ٤ سم ،



وقوة مقدارها ١١,١ مللي باوند يمكن أن تتواجد على مسافة ٦ سم من هذا المصدر . ومن ذلك نحصل على الجدول التالي :

المسافة ف بالسنتيمتر	القوة ق بالمللي باوند
١	١٠٠
٤	٢٥
٦	١١,١



شكل ١٤٢ : تمثيل مستو لمجال كهربائي حول موصل مستدير

ويتبين من ذلك ، أنه على مسافة ٤ سم انخفضت القوة إلى  $\frac{1}{4}$  ( ربع ) قيمتها الأصلية ، وعلى مسافة ٦ سم انخفضت القوة إلى  $\frac{1}{9}$  ( تسع ) قيمتها الأصلية ويمكن من هذه القيم العملية ، استنتاج الصيغة التالية :

للحصول على قوة المجال الكهربائي ، تضرب القوة في مربع المسافة .

$$\text{أي أن : } \text{ق مجال} = \text{ق} \times \text{ف}^2$$

بتطبيق ذلك على المثال السابق ، نحصل على ما يلي :

$$٤٠٠ = ٤ \times ١٠٠ = ٢ \times ٢ \times ١٠٠ = ٢٢ \times ١٠٠$$

$$٤٠٠ = ١٦ \times ٢٥ = ٤ \times ٤ \times ٢٥ = ٢٤ \times ٢٥$$

$$٤٠٠ = ٣٦ \times ١١,١ = ٦ \times ٦ \times ١١,١ = ٢٦ \times ١١,١$$

ويمكن التعبير عن ذلك بالصيغة التالية :

تتناقص القوة لفعالة لمجال كهربائي بمقدار مربع المسافة .

### (ب) تشكيلات المجالات الكهربائية :

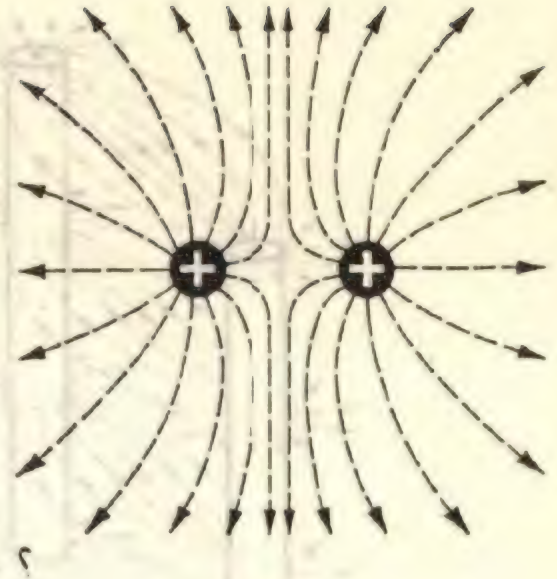
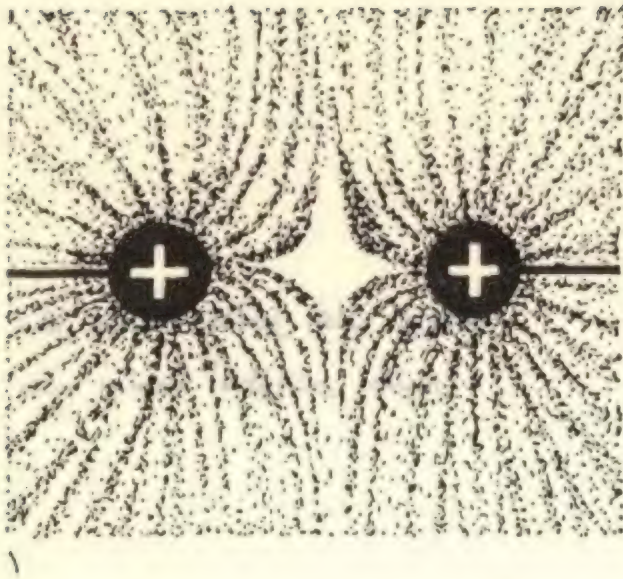
للحصول على تشكيل لمجال كهربائي ، توضع موصلات ذات أشكال مختلفة في طبقة رقيقة من الزيت المنغلي بجسيمات « الصميد » semolina . فند سريان التيار الكهربائي في هذا الموصل ، تترتب هذه الجسيمات في اتجاه خطوط القوة ، وتعطي بذلك تشكيلا للمجال . وتبين الأشكال الآتية بضع تشكيلات للمجالات الكهربائية .

وعند دراسة هذه التشكيلات ، يمكن التمييز بسهولة بين تشكيلين أساسيين للمجالات الكهربائية :

مجالات كهربائية متجانسة ومجالات كهربائية غير متجانسة .

ويمكن الحصول على مجال متجانس بوضع لوحين معدنيين عريضين إلى حد ما ، على مسافة صغيرة من بعضهما البعض . وتسمى هذه الترتيبية « المكثف الكهربائي » أو « المواسع » . وتلعب المواسعات دورا هاما في الهندسة الكهربائية . وسيرد وصفها فيما بعد .

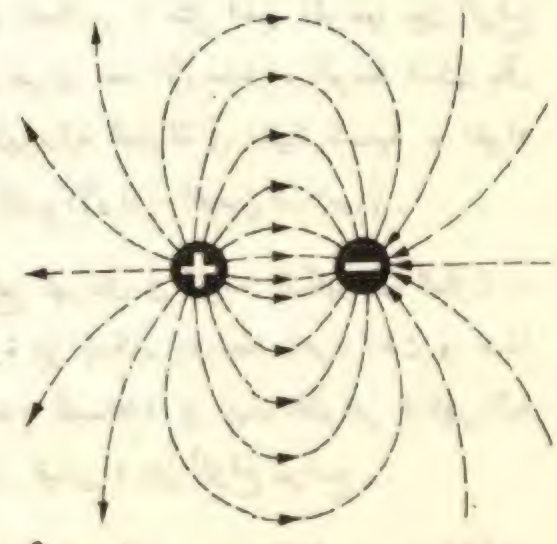
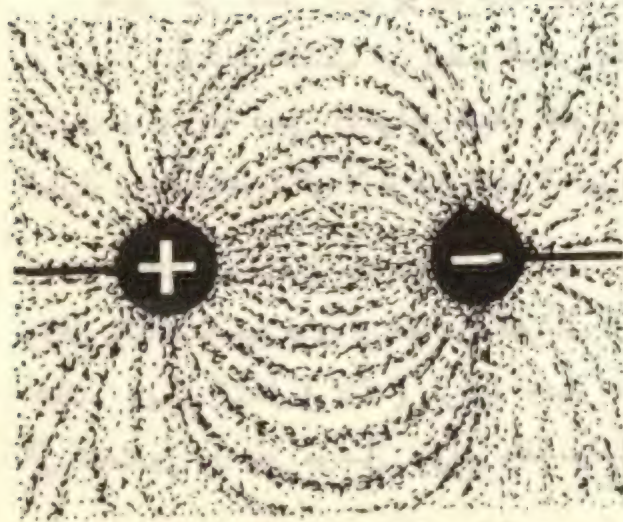




شكل ١٤٣ : تشكيلات المجالات الكهربائية حول مقطعين لموصلين لهما نفس القطبية

١ - تشكيل المجال الكهربائي كنتيجة للتجربة .

٢ - تمثيل تخطيطي لمجال كهربائي .

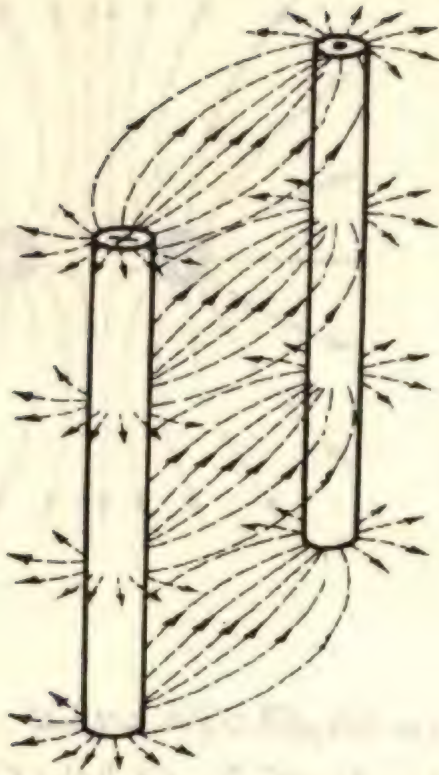


شكل ١٤٤ : تشكيلات مجالات كهربائية حول مقطعي موصل مختلفي القطبية

١ - تشكيل المجال الكهربائي كنتيجة للتجربة .

٢ - تمثيل تخطيطي لمجال كهربائي .





شكل ١٤٥ : تشكيل لمجال كهربائي  
منتج بواسطة أسطوانتين معدنيتين

### ٣/١١ - كليات لتعيين المجالات الكهربائية المتجانسة :

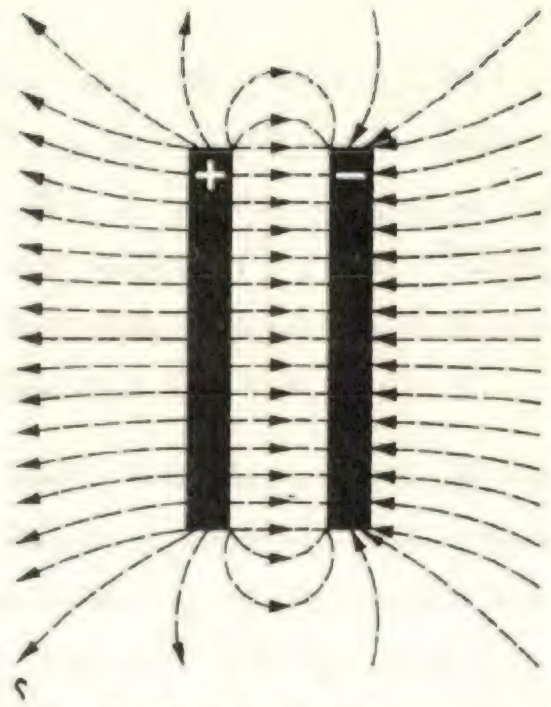
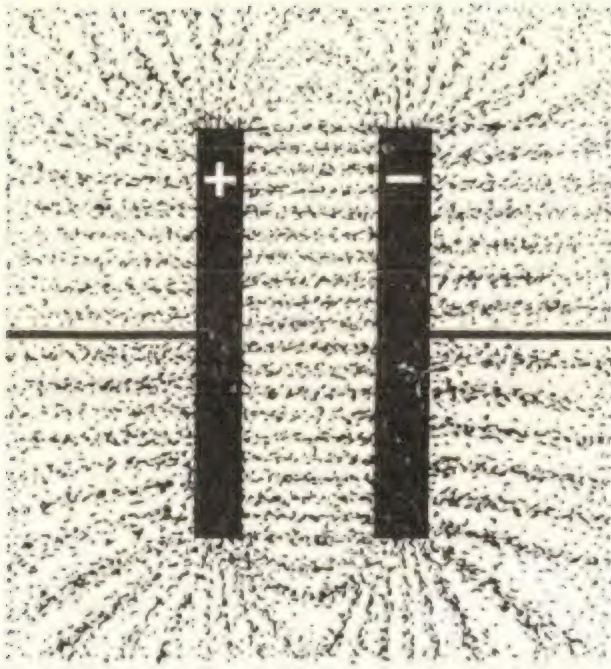
#### ( ١ ) الوسط الكهربائي العازل - استقطاب الوسط الكهربائي العازل :

يمكن مل\* الحيز الذي يوجد فيه مجال كهربائي متجانس ، مثل الحيز الموجود بين ألواح مواسع ، بأوساط تختلف عن بعضها البعض تماما . وتعرف هذه الأوساط « الوسط الكهربائي العازل » ، كما تسمى الأنواع المختلفة للأوساط الكهربائية العازلة في الحياة العملية « المواد العازلة » ، أى المواد التي لا توصل التيار الكهربائي ( القسم الأول - الفصل السادس ) .

ويمكننا افتراض حدوث تغيرات أيضا لها طابع كهربائي في الوسط الكهربائي العازل ، وذلك بإثبات وجود قوى في المجال الكهربائي ، علاوة على إمكان ملاحظة ظاهرة الحث في هذا المجال . ويبين الشكل ( ٤٧ ) ترتيبية اختبار ، تستخدم للمساعدة في تبيان الظواهر الكهربائية التي تحدث في حيز غير موصل . تولج حلقة موصلة بجهاز قياس ، بين ألواح مواسع .

فعند تشغيل هذه الدائرة الكهربائية ، يحدث انحراف عابر لمؤشر جهاز القياس ، وإذا قطعت التغذية عن هذه الدائرة الكهربائية ، ووصل جهاز القياس بعد ذلك بلوحى مواسع ، ينحرف المؤشر أيضا لفترة وجيزة . ويتضح من ذلك سريان تيار كهربائي خلال غير الموصل تحت هذه الظروف المعطاة .



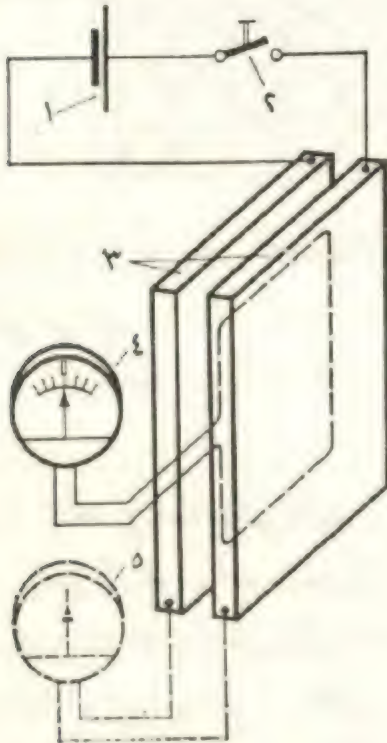


شكل ١٤٦ : تشكيل المجال الكهربائي بين لوحين معدنيين

١ - تشكيل المجال الكهربائي كنتيجة للتجربة .

٢ - تمثيل تخطيطي لمجال كهربائي .

وتفسر هذه الظاهرة على أساس ما سبق شرحه . فقد تكونت على لوحى المواسع ، شحنات كهربائية متضادة القطبية ، تعادلت عن طريق جهاز القياس ، وذلك عند قطع التغذية عن الدائرة الكهربائية . أما عند تشغيل هذه الدائرة ، فتفسر الظاهرة التي حدثت كما يلي :



شكل ١٤٧ : شكل يبين ظاهرة كهربائية تحدث في

مجال متجانس

١ - مصدر للجهد .

٢ - مفتاح كهربائي .

٣ - ألواح المواسع .

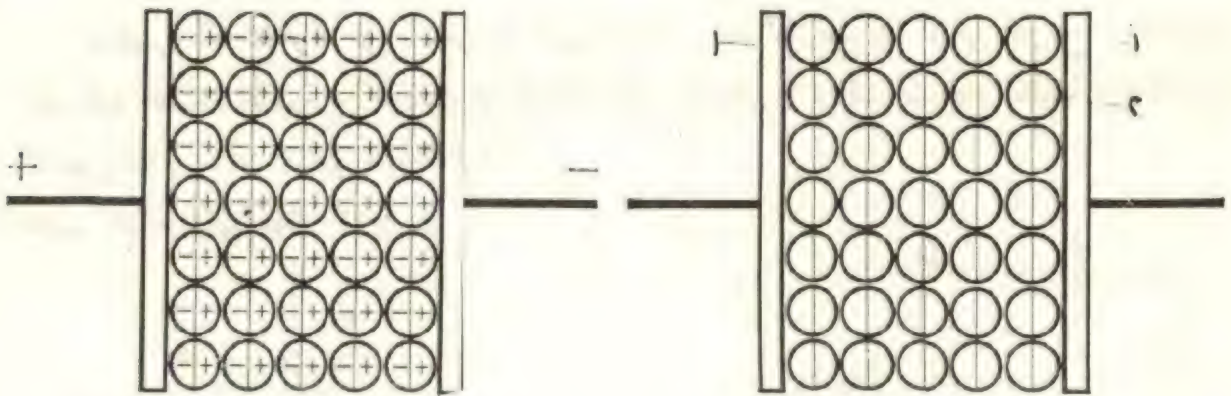
٤ - حلقة الموصل الموصلة بجهاز القياس .

٥ - جهاز القياس الموصل بالألواح المواسع .



إذا رجعنا إلى نموذج الذرة المبين في القسم الأول - الفصل الثاني ، تتكون مواد كثيرة من اتحاد ذرتين أو أكثر من تكوين مختلف ، فثلا كلوريد الصوديوم يتكون من اتحاد الصوديوم والكلور . ويسمى أصغر جزء من اتحاد صوديوم وكلور ، أى اتحاد ذرة صوديوم مع ذرة كلور ، « الجزى » . فثلا جزى ماء يتكون من ذرتين هيدروجين ( يد ) ، وذرة أكسجين ( أ ) ويعبر عن هذا الاتحاد بالرمز ( يد أ ) . وفي حالة التعادل الكهربائى للوسط الكهربائى العازل ، فإن الإلكترونات الموجودة في جزيئاتها ، لا تتخذ إتجاها مفضلا لها ( الشكل ١٤٨ ) .

وعندما يسלט جهد على ألواح المواسع ، تنضبط الشحنات الكهربائية الموجودة على الجزيئات بطريقة معينة . ويسمى هذا الانضباط أو الإزاحة للشحنات على الجزيئات « استقطاب الوسط الكهربائى العازل » ( الشكل ١٤٩ ) . ويكون إتجاه الشحنات على الجزيئات ، بحيث ، تضاد الشحنة الموجبة لجزى لوح المواسع المشحون السالب . وهذا يعنى ، أنه إذا سلط جهد على ألواح المواسع ، فإنه يتكون مجال كهربائى . وبتعبير آخر يشحن المواسع ، ويصاحب ذلك ظهور تيار شحن وتيار استقطاب ، ويعبر عن هذين التيارين عادة « بتيار الإزاحة للوسط الكهربائى العازل » .



شكل ١٤٩ استقطاب الوسط الكهربائى العازل

شكل ١٤٨ : الجزيئات المتعادلة كهربائيا بين

لوحى مواسع

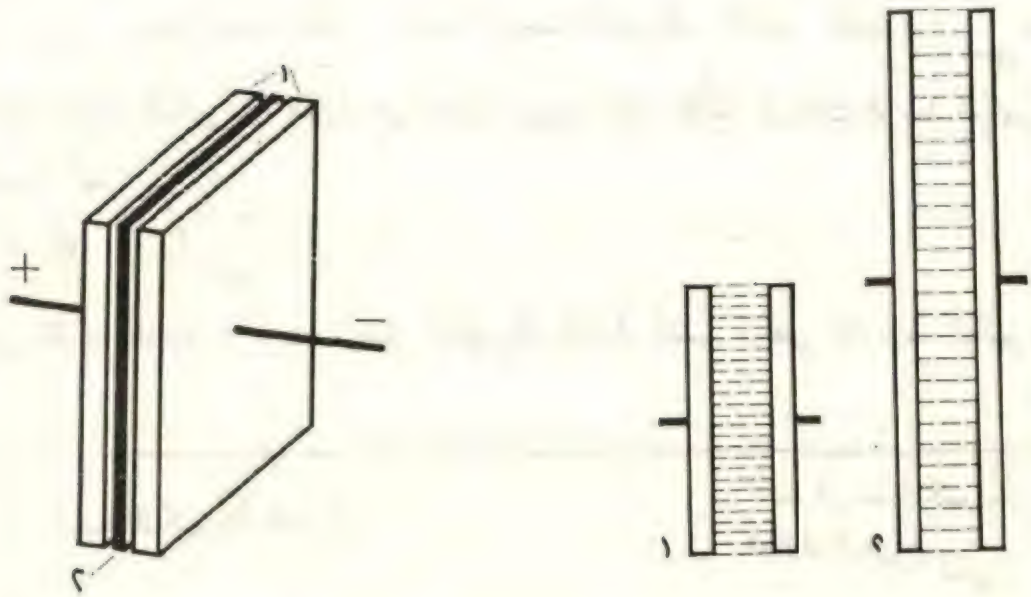
١ - لوحا مواسع . ٢ - جزيئات .

### (ب) كثافة الإزاحة الكهربائية :

تحمل ألواح المواسع مشحون ، كمية معينة من الكهرباء لـ ( القسم الأول - الفصل الرابع ) . وتتوقف شدة المجال الكهربائى المتجانس ، التى يمكن بيانها بتباعد خطوط القوة ، على كمية الكهرباء ومساحة ألواح المواسع . والتمثيل المبين في الشكل ( ١٥٠ ) ، مبنى على إفتراض أن كمية الكهرباء ( والتى اصطلح عليها كشحنة ) تكون هى نفسها في كلا المواسعين كما هو مبين في هذا الشكل ، أى أن

ك<sup>-</sup><sub>١</sub> = ك<sup>-</sup><sub>٢</sub> ، وأن مساحة ألواح المواسع تختلف عن بعضها لبعض ، أى أن  $\epsilon_1 \neq \epsilon_2$  . وفى كلتا الحالتين يتساوى عدد خطوط القوى ، ويمكن التحقق من ذلك بعدها ، ومع ذلك فإنها تكون متباعدة بمسافات أكبر ، فى حالة المواسع الأكبر . وهذا يبين أنه يمكن الحصول على مقياس لكثافة شحنة مواسع من خارج القسمة  $\frac{K^-}{\epsilon}$  . وإذا وضع لوح معدنى داخل مجال مواسع بنفس الطريقة ، كما هو مبين بالشكل ( ١٥١ ) ، فإن شحنة كهربائية ك تنتج بالحث على هذا اللوح . وإذا كانت مساحة اللوح  $\epsilon$  مساوية لمساحة المواسع  $\epsilon^-$  ، تكون قيمة الكثافة من خارج القسمة  $\frac{K}{\epsilon}$  مساوية لقيمتها من خارج القسمة  $\frac{K^-}{\epsilon^-}$  . ويسمى خارج القسمة هذا « كثافة الإزاحة الكهربائية » ويرمز لها بالرمز ك<sup>-</sup> ، أى :

$$\frac{K^-}{\epsilon^-} = \frac{K}{\epsilon} = K^-$$



شكل ١٥١ : تعيين كثافة الإزاحة

١ - لوحا مواسع .

٢ - ألواح معدن مستحثة ذات كثافة  $\frac{K}{\epsilon}$

شكل ١٥٠ : تمثيل كثافة الشحنة

١ - مواسع بلوحيين صغيرين .

٢ - مواسع بلوحيين كبيرين .

ويسمى خارج القسمة  $\frac{K^-}{\epsilon^-}$  « كثافة الشحنة للمواسع » ويرمز لها بالرمز ك<sup>-</sup>ش أيضا.



ونحصل على وحدة كثافة الإزاحة الكهربائية من كمية لكهرباء ( الشحنة ) ، معبرا عنها بالأمبير ثانية ( مب . ث ) ، والمساحة معبرا عنها بالسنتيمتر المربع ( سم<sup>٢</sup> ) ، وعليه تكون وحدة كثافة الإزاحة الكهربائية هي :  $\frac{\text{مب. ث.}}{\text{سم}^2}$  .

( ج ) معامل الوسط الكهربائي العازل :

للحصول على استقطاب ، وبالتالي على مجال متجانس ، تلزم شدة كهربائية ش لها قيمة معينة . ويتوقف ذلك على نوع الوسط الكهربائي العازل المستخدم في المواسع . وقابلية الأوساط الكهربائية العازلة لاكتساب الاستقطابية ، هي خاصية تميز بثابت الوسط الكهربائي العازل ، الذي يعرف أيضا « بمعامل الوسط الكهربائي العازل » ع . وبدراسة الاستقطاب في الفراغ

وجد أن « ثابت التأثير » ع<sub>0</sub> « يساوي ١٠٠٨٨٦ × ١٠ - ١٢  $\frac{\text{مب. ث.}}{\text{قل} \times \text{سم}}$  »

ويمكن التعبير عن أوساط كهربائية عازلة أخرى بقيم مضاعفة من هذه القيمة . وتسمى القيمة التي تنحرف عن قيمة ثابت التأثير « بثابت الوسط الكهربائي العازل النسبي » ع نسبي . ومعامل الوسط الكهربائي العازل هو حاصل ضرب ثابت التأثير في ثابت الوسط الكهربائي العازل النسبي ، أي :

$$ع = ع_0 \times ع \text{ نسبي}$$

وتبين القائمة التالية ، ثابت الوسط الكهربائي العازل النسبي لبعض الأوساط الكهربائية العازلة :

ثابت الوسط الكهربائي العازل النسبي ع نسبي	الوسط الكهربائي العازل
١	كوارتز
٧	ميكا
٤	مطاط
٢,٧	بونا ( Buna )
٦,٥ - ٥,٥	صيني صلد ( مصقول )
٦,٥ - ٥,٥	أستيتيت
١٠ - ٣	زجاج
٤ - ٢,٥	ورق مشرب بالبرافين

العازل النسبي ع نسبي	ثابت الوسط الكهربائي
ورق مضغوط	٢ - ٦
زيت محولات	٢ - ٢,٥
فراغ	١
هواء	١,٠٠٠٦
ماء مقطر عند ٢٠ م°	٨٠
مواد فخارية خاصة :	
كاليت (Calit)	٦ - ٧
كوند نسان تمبا (Condensan Tempa)	٣٠ - ٥٠
إبسيلان (Epsilan)	٤٠٠٠ - ٧٠٠٠
لدائن ( بلاستيك ) :	
استير وفلكس (Styroflex)	٢,٤
كلوريد عديد الفينيل	٢,٨ - ٣,٤
بكاليت	٢,٩

( د ) العلاقة بين الشحنة ومقاس الألواح والشدة الكهربائية وثوابت الوسط الكهربائي العازل :

يمكن أيضا تعيين كثافة الشحنة  $\frac{ق}{س}$  لمواسع ما ، إذا عرفت الشدة الكهربائية ش ، وثابت الوسط الكهربائي العازل النسبي ع نسبي . ولذلك أهمية في تصميم وتكوين المواسعات كما سيبين بعد .

فإذا كانت الشدة الكهربائية هي ش =  $\frac{ج}{ل}$  معبرا عنها  $\frac{فل}{سم}$  ، وثابت الوسط الكهربائي

العازل هو ع = ٥ ع نسبي معبرا عنه  $\frac{مب . ث}{فل \times سم}$  ، ف ضرب ش × ع نحصل على الوحدة التالية :

$$\frac{فل}{سم} \times \frac{مب . ث}{فل \times سم} ، \text{ أي نحصل على } \frac{مب . ث}{٢ سم}$$

هذه الوحدة هي نفسها وحدة كثافة الشحنة أو وحدة كثافة الإزاحة .

ويمكن التعبير عن كثافة الشحنة لمواسع ، بطريقتين :

$$١ - ك ش = \frac{ك}{س} \text{ ( نسبة شحنة مواسع إلى مساحة لوحة ) .}$$



٢ -  $K_{ش} = ع \times ش$  ( حاصل ضرب نوع الوسط الكهربائي العازل لمواسع في الشدة الكهربائية للوسط ) .

( ٥ ) المواسعات :

$$من K_{ش} = \frac{K}{ح} ، K_{ش} = ع \times ش = \frac{ج}{ل} \times ع$$

$$ينتج أن  $\frac{ك}{ح} = \frac{ج}{ل} \times ع$$$

وعند حل هذه المعادلة لإيجاد قيمة ك :

$$ك = ع \times \frac{ج}{ل} \times ح$$

وفي هذه المعادلة ، لمواسع إزالة التداخل من المحركات الكهربائية المنزلية ، أو في مرشح موجه لمقوم ، تستخدم الكميات التالية :

١ - مساحة اللوح ح

٢ - المسافة بين الألواح ل

٣ - نوع الوسط الكهربائي العازل مع ثابت الوسط الكهربائي العازل ع .

وتؤخذ هذه الكميات في الاعتبار ، عند كتابة هذه المعادلة كما يلي :

$$ك = ع \times \left[ \frac{ح}{ل} \times ج \right]$$

والتعبير الموجود بداخل المستطيل  $\frac{ح}{ل} \times ج$  ، لمواسع من النوع المبين أعلاه ، هو ثابت

يطلق عليه « المواسعة » ويرمز لها بالرمز س ، وهي مشتقة من السعة .

وتكون السعة أعلى كلما كان مقاس ألواح المواسع أكبر ، وكانت مسافة الألواح أصغر ،

مع افتراض أن الوسط الكهربائي العازل يكون ثابتا . وعليه فإن :

$$ك = س \times ج ، س = \frac{ك}{ج}$$

بالتمعق في دراسة تصميم المواسعات ، نجد أن المصممين يبذلون جهودا للوصول إلى تصميم

مواسعة عالية ، بوضع الألواح أقرب ما يمكن من بعضها البعض ، وباختيار وسط كهربائي

عازل ذي متانة كهربائية عازلة عالية ، ( انظر القسم الأول - الفصل السادس ) ، وباستخدام

رقائق رفيعة من المعدن على مسافات صغيرة .

ووحدة المواسعة هي  $\frac{\text{مب} \cdot \text{ث}}{\text{فل}}$ ، وتسمى « فاراد » نسبة إلى عالم الطبيعيات الانجليزي فاراداي.  
والفاراد الواحد عبارة عن كمية كهربائية ذات قيمة عالية. ويفضل عمليا استخدام وحدات مشتقة من الفاراد مثل :

$$1 \text{ ميكرو فاراد (ف) } = 10^{-6} \text{ ف}$$

$$1 \text{ نانوفاراد (نف) } = 10^{-9} \text{ ف}$$

$$1 \text{ بيكوفاراد (بف) } = 10^{-12} \text{ ف}$$

المواسعة س هي نسبة الشحنة ك إلى فرق الجهد أو الفلطة ج بين الموصلات، وعلى ذلك :

$$س = \frac{ك}{ج}$$

(و) الحسابات المتعلقة بالمواسعات :

مثال :

مواسع مقاس لوحه 6 سم × 8 سم . استخدمت به ميكا بسبك 1 مم كوسط كهربائي عازل .  
فا مواسعة هذا المواسع ؟

المعطيات : مقاس اللوح 6 سم × 8 سم

المسافة بين الألواح ل = 1 مم

ثابت الوسط الكهربائي النسبي للميكا ع نسبي = 7

المطلوب : المواسعة س

الحل :

$$س = \frac{ع \times 0.001}{ل} \times \text{نسبي}$$

$$= \frac{7 \times 0.001}{0.001} \times 7 = 49$$

$$س = \frac{49}{10^{-12}} \times 10^{-10} \times 0.0008 \times 0.006 = 2.352 \times 10^{-11} \text{ ف}$$

$$= 2.352 \times 10^{-11} \text{ ف} = 23.52 \text{ بيكوناراد}$$

هذا المواسع له مواسعة قيمتها 23.52 بيكوناراد .

مثال :

سلط جهد 15000 فلت على مواسع له وسط كهربائي عازل من الورق المضغوط سمكه 2 مم .  
فا الشدة الكهربائية للمواسع ؟

المعطيات : الجهد ج = 15000 فلت

المسافة بين الألواح ل = 2 مم



المطلوب : الشدة الكهربائية ش

الحل :

$$ش = \frac{ج}{ل}$$

$$ش = \frac{١٥٠٠٠}{٠,٢} = ٧٥٠٠٠ \text{ فلت/سم}$$

الشدة الكهربائية للمجال على المواسع هي ٧٥٠٠٠ فلت/سم .

مثال :

سلط جهد ٢٢٠ فلت على مواسع ذي مساحة قيمتها ١٦ ميكرو فاراد . فا الشحنة الموجودة على المواسع ؟

المعطيات : المواسعة = ١٦ ميكرو فاراد

الجهد ج = ٢٢٠ فلت

المطلوب : الشحنة الكهربائية ك

الحل :

$$ك = س \times ج$$

$$= ١٦ \times ١٠^{-٦} \times ٢٢٠$$

$$= ٣,٥٢ \times ١٠^{-٣} \text{ م.ب.ث}$$

الشحنة الموجودة على المواسع هي ٣,٥٢  $\times ١٠^{-٣}$  أمبير ثانية .

( ز ) فقد العزل لمواسع :

إذا سلط جهد على جهاز قياس فرق الجهد الكهربائي المطلق ( انظر القسم الثاني - الفصل الثالث ) ، تقترب الألواح من بعضها البعض ، وفي نفس الوقت يتكون مجال كهربائي متجانس بينهما . وتشبه هذه الترتيبية ، ترتيبية مواسع . فإذا كانت هذه النبيطة غير مفرغة ( مثلاً ، عن طريق القياس ) فإن الألواح لا تظل على نفس المسافة لفترة طويلة ، بل يحدث تفريغ ، ويكون هذا التفريغ نتيجة لموصلية الوسط الكهربائي العازل . ولذلك تكون مقاومة العزل للوسط الكهربائي العازل عالية جداً ، مع أنه سيمر تيار صغير حتماً . ويسمى هذا التيار « تيار العزل » أو « تيار التسرب » الذي يسبب اضمحلال المجال الكهربائي . وعندما يظل الجهد مسلطاً على المواسع لفترة أطول ، يمر تيار تسرب باستمرار ، يمثل مع الجهد المسلط فقد قدرة المواسع . ويسمى فقد القدرة هذا « فقد العزل » ويمكن أن يكون لفقد القدرة شكل آخر ، إذا كان المواسع مغذى بجهد متردد . وفي مجال دراستنا لاستقطاب الوسط الكهربائي العازل ذكرنا أن تيار إزاحة الوسط الكهربائي العازل يسري نتيجة لاستقطاب جزئيات هذا الوسط . وإذا سلط تيار متردد على المواسع ، يعرض الوسط الكهربائي العازل إلى انعكاس مستمر لأقطبية .

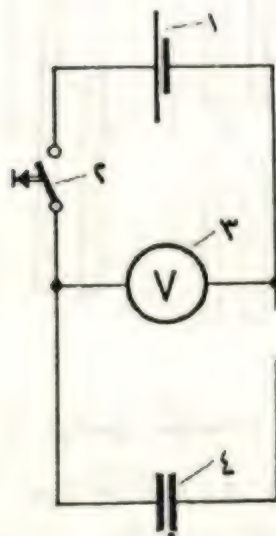
ويمثل تيار الإزاحة للوسط الكهربائي العازل ، مع الجهد المسلط ، فقد قدرة المواسع .  
ويسمى فقد القدرة هذا « فقد الوسط الكهربائي العازل » .

من هذا يتبين أن المواسعات التي تعمل بالتيار المستمر تكون معرضة لفقد عزل ، بينما تكون المواسعات التي تعمل بالتيار المتردد معرضة لكل من فقد العزل وفقد الوسط الكهربائي العازل . ويظهر هذا الفقد في شكل حرارة تتولد في المواسع الذي يحدث فيه الفقد . ولقد بذلت مجهودات كبيرة للمحافظة على قيمة هذا الفقد صغيراً بقدر الإمكان . ومن البديهي ، أنه يجب اختيار عازل ذي جودة عالية . ويكون ثابت الزمن  $\tau$  مقياساً لهذه الجودة .

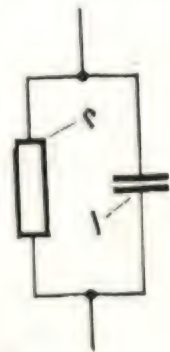
ولشرح ثابت الزمن  $\tau$  ، نأخذ في الاعتبار مواسعاً ( لا داعي لوصفه هنا ) ويكون لمواسعته  $\tau$  وللمقاومة عزل وسطه الكهربائي العازل  $R$  أهمية .

ونفرض استخدام هذا المواسع على التيار المستمر لسهولة الشرح .

لتمثيل مقاومة العزل  $R$  ، يمكن استخدام رسم تخطيطي لدائرة كهربائية مكافئة ، تمثل مواسعاً ليس له فقد ، موصل على التوازي مع مقاوم ، تكون مقاومته مكافئة للعزل ( الشكل ١٥٢ ) وتسمى هذه المقاومة « مقاومة الفقد » .



شكل ١٥٢  
رسم تخطيطي لدائرة كهربائية مكافئة لمواسع  
١ - مواسع ليس له فقد      ٢ - مقاومة العزل



شكل ١٥٣ : ترتيب دائرة كهربائية لتعيين ثابت الزمن

- ١ - مصدر للجهد .
- ٢ - مفتاح كهربائي بذراع .
- ٣ - فلظمتر .
- ٤ - عينة اختبار ( مواسع ) .

ويكون حاصل ضرب المواسعة التي ليس لها فقد  $C$  في مقاومة الفقد  $R$  هو ثابت الزمن  $\tau$

$$\tau = RC$$

وكلما طالت الفترة التي يستبقى خلالها مواسع مشحون شحنته ، بالمقارنة بمواسع آخر له نفس المواسعة ، كانت جودة عزل هذا المواسع أعلى . المواسع الذي ليس له فقد ، يكون قادراً على الاحتفاظ بشحنته لفترة لا نهائية . وحتى الآن لم يمكن إنتاج مثل هذا المواسع . وهناك علاقة بين ثابت الزمن  $\tau$  والجهد المسلط  $V$  لمواسع . وثابت الزمن  $\tau$  هو الوقت الذي يفرغ خلاله

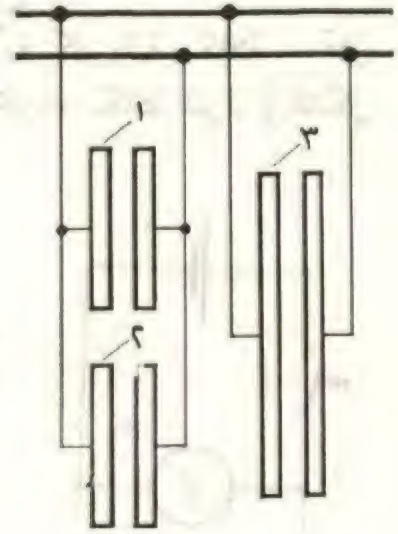
مواسع ليس له فقد عن طريق مقاوم موصل على التوازي إلى  $\frac{1}{2,72}$  من جهد شحنته .



وعلى أساس هذه العلاقة يمكن تعيين المواسعة، مع التقريب البسيط، وبمساعدة طرق بسيطة نسبياً، ويلزم لذلك مصدر للجهد بتيار مستمر، وقاطع دائرة كهربائية، وفلطمتر، وساعة، (الشكل ١٥٣). والفقد الذي يمارسه مواسع يميز بفقد عزل وبفقد وسط كهربائي عازل. وفي الحياة العملية يجري كل شيء في سبيل المحافظة على هذا الفقد أصغر ما يمكن. ولا جدال في أن لجودة العزل للوسط الكهربائي العازل أثره على فقد المواسع. وثابت الزمن  $\tau$  هو بيان مناسب لتقييم جودة العزل.

#### ١١/٤ - ترتيب الدائرة الكهربائية للمواسعات :

فيما يتعلق بمناقشة الدوائر والشبكات الكهربائية البسيطة، ناقشنا علاقات التيار والجهد والإمكانات المختلفة لترتيب المقاومات في دائرة كهربائية. وبالمثل يمكن استخدام المواسعات كعناصر دائرة كهربائية. ويشير الشرح التالي إلى ترتيب المواسعات في دوائر التيار المستمر.



شكل ١٥٤

المواسعات الموصلة على التوازي والشحنة عليها

١ - مواسع له مواسعة  $S_1$ .

٢ - مواسع له مواسعة  $S_2$ .

٣ - مواسع له مواسعة  $S_3 = S_1 + S_2$ .

#### (١) توصيل المواسعات على التوازي :

يبين الشكل (١٥٤) ثلاثة مواسعات، مواسعاتها  $S_1$ ،  $S_2$ ،  $S_3$ ، سلط عليها نفس الجهد  $J$ . وللمواسعين الموصلين على التوازي نفس نوع الوسط الكهربائي العازل ونفس الأبعاد الهندسية. وتساوى أبعادهما الهندسية معاً الأبعاد الهندسية للموسع الثالث. ويمكن التحقق باستخدام القياس من أنه في هذه الحالة :

$$S_3 = S_1 + S_2 \quad , \quad K_3 = K_1 + K_2$$

علاوة على ذلك، فإنه يمكن استخدام المعادلة الآتية في هذه الحالة :

$$S_3 \times J = S_1 \times J + S_2 \times J$$

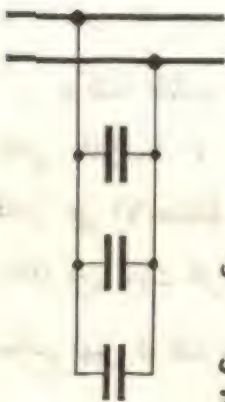
يبين الشكل (١٥٥)، ثلاثة مواسعات موصلة على التوازي، مواسعاتها

$S_1$ ،  $S_2$ ،  $S_3$ . يمكن الحصول على المواسعة الإجمالية لهذه الترتيب من

$$S_{\text{إجمالية}} = S_1 + S_2 + S_3$$

شكل ١٥٥ : ثلاث مواسعات موصلة على التوازي

ويمكن أن يكون للمراسعة أي قيمة مطلوبة



من هذا ينتج أن :

عند توصيل أى عدد من المواسعات على التوازي . تكون المواسعة الإجمالية مساوية لحاصل جمع كل مواسعة على حدة :

وإذا وصلت مواسعات لها نفس المواسعة على التوازي في دائرة كهربائية، تكون المواسعة الإجمالية لها :

$$س١ إجمالية = ن \times س$$

حيث ن عدد المواسعات الموصلة على التوازي .

شكل ١٥٦ : أربع مواسعات موصلة على التوازي

$$\begin{aligned} ١ - س١ &= ٨ \mu \text{ ف} . ٢ - س٢ = ٨ \mu \text{ ف} . ٣ - س٣ = ٢ \mu \text{ ف} . ٤ - س٤ = ٤ \mu \text{ ف} . \\ \text{مثال :} \end{aligned}$$

ما المواسعة الإجمالية للترتيبة المبينة في الشكل (١٥٦) :

المعطيات : انظر الشكل (١٥٦) .

المطلوب : س إجمالية

الحل :

$$\begin{aligned} \text{س إجمالية} &= س١ + س٢ + س٣ + س٤ \\ &= ٨ + ٨ + ٢ + ٤ \\ &= ٢٢ \mu \text{ ف} \end{aligned}$$

المواسعة الاجمالية للترتيبة هي ٢٢  $\mu$  ف .

(ب) توصيل المواسعات على التوالى :

يبين الشكل (١٥٧) ثلاثة مواسعات موصلة على التوازي ، مواسعاتها س١ ، س٢ ، س٣ .

فرق الجهد في هذه الدائرة الكهربائية ج = ج١ + ج٢ + ج٣ كما هو مبين بالشكل .

لتعيين المواسعة الإجمالية :

$$ج = \frac{ك}{س} . \text{ ومن هذه العلاقة نستنتج :}$$

$$ج = \frac{ك}{س} = \frac{ك}{س١} + \frac{ك}{س٢} + \frac{ك}{س٣}$$

فبالقسمة على ك نحصل على :

$$\frac{١}{س إجمالية} = \frac{١}{س١} + \frac{١}{س٢} + \frac{١}{س٣}$$

شكل ١٥٧ : ثلاث مواسعات موصلة على التوالى



هذا يعنى أنه عند توصيل أى عدد من المواسعات على التوزى ، فإن مقلوب المواسعة الإجمالية يساوى حاصل جمع مقلوب كل مواسعة على حدة .  
ويطبق الآتى على مواسعين موصلين على التوالى :

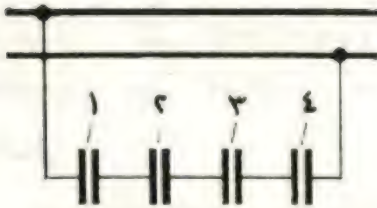
$$\frac{س_1 \times س_2}{س_1 + س_2} = س$$

مثال :

ما المواسعة الإجمالية لترتيبة الدائرة الكهربائية المبينة فى شكل (١٥٨) ؟

المعطيات : انظر الشكل (١٥٨)

المطلوب : س إجمالية



شكل ١٥٨ : أربعة مواسعات موصلة على التوالى

$$١ - س = ٢ \text{ } \mu\text{ف} . \quad ٣ - س = ٤ \text{ } \mu\text{ف} .$$

$$٢ - س = ٨ \text{ } \mu\text{ف} . \quad ٤ - س = ٤ \text{ } \mu\text{ف} .$$

الحل :

$$\frac{١}{س_١} + \frac{١}{س_٢} + \frac{١}{س_٣} + \frac{١}{س_٤} = \frac{١}{س}$$

إجمالية

$$\frac{١}{٤} + \frac{١}{٤} + \frac{١}{٨} + \frac{١}{٢} =$$

$$\frac{٢}{٨} + \frac{٢}{٨} + \frac{١}{٨} + \frac{٤}{٨} =$$

$$\frac{٩}{٨ \text{ } \mu\text{ف}} =$$

$$س إجمالية = \frac{٨}{٩} \text{ } \mu\text{ف}$$

$$= ٠,٨٨ \text{ } \mu\text{ف}$$

المواسعة الإجمالية لهذه الترتيبة ٠,٨٨  $\mu\text{ف}$  .

وإذا كانت الدائرة الكهربائية تشتمل على مواسعات لها نفس المواسعة موصلة على التوالي  
نستخدم الصيغة :

$$\frac{S}{N} = S_{\text{إجمالية}}$$

حيث N عدد المواسعات الموصلة على التوالي .

مثال :

دائرة كهربائية تشتمل على ٦ مواسعات مواسعة كل منها ١٦  $\mu$  ف . موصلة على التوالي .  
فما المواسعة الإجمالية لهذه الدائرة ؟

المطلوب :  $S_{\text{إجمالية}}$

الحل :

$$\frac{S}{N} = S_{\text{إجمالية}}$$

$$\frac{16}{6} = S_{\text{إجمالية}}$$

$$S_{\text{إجمالية}} = 2,67 \mu \text{ ف}$$

المواسعة الإجمالية لهذه الترتيبة هي ٢,٦٧  $\mu$  ف

١١ هـ - الأنواع المختلفة للمواسعات :

للمواسعات تطبيقات كثيرة في الدوائر الكهربائية ، وتنقسم من حيث تصميمها إلى :

مواسعات مغلقة .

مواسعات أنبوبية .

مواسعات ألواح .

مواسعات ألواح دوارة أو مواسعات متغيرة .

مواسعات تشذيب .

\* وعلى العموم فإن تصميم المواسع لا يعطى أى بيانات عن مواسعته ، ومتانة وسطه الكهربائي العازل ، ومقاومته لظروف الحرارة القاسية ، ونوع وسطه الكهربائي العازل وأبعاده الهندسية .

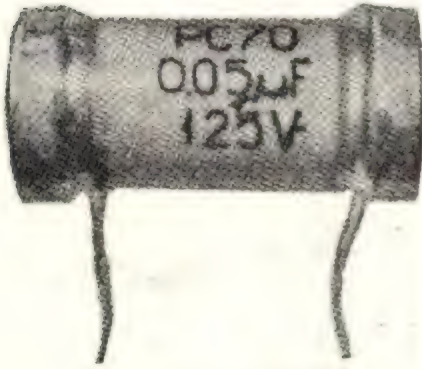
وتبعاً لنوع الوسط الكهربائي العازل ، فإنه يمكن تصنيف المواسعات إلى :



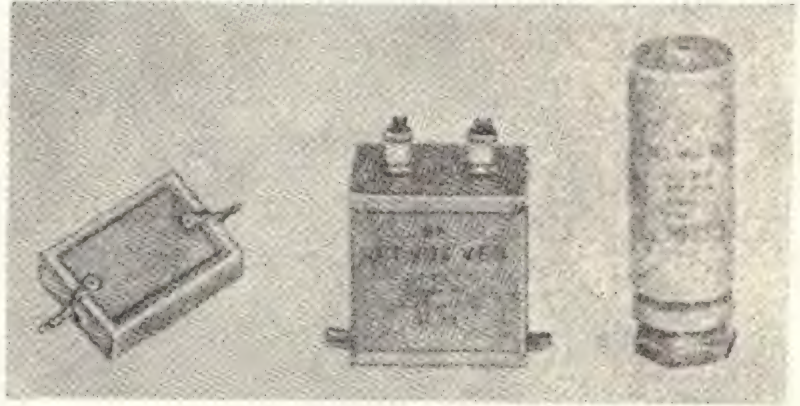
- مواسعات هوائية .
- مواسعات ميكانيكية .
- مواسعات خزفية .
- مواسعات إلكترونية .

والتطبيق المعطى يحكم ويختار التصميم ، والوسط الكهربائي العازل للمواسع ، على أساس التطبيق المطلوب . ومثال لذلك ، فإن المواسعات ذات المواسعة الصغيرة تعمل عادة كمواسعات خزفية ، لأن إنتاجها بهذا الشكل ، يكون أقل تكلفة من إنتاج المواسعات الورقية . وتبين الأشكال من (١٥٩) إلى (١٦٣) ، بعض تصميمات المواسعات .

وهناك تصنيف آخر للمواسعات بني على طريقة تشغيلها ، ويميز بين المواسعات ذات المواسعة المتغيرة والمواسعات ذات المواسعة غير المتغيرة ، وبالاختصار بين المواسعات المتغيرة وغير المتغيرة .



الشكل ١٥٩



الشكل ١٦٠

الشكل ١٦١

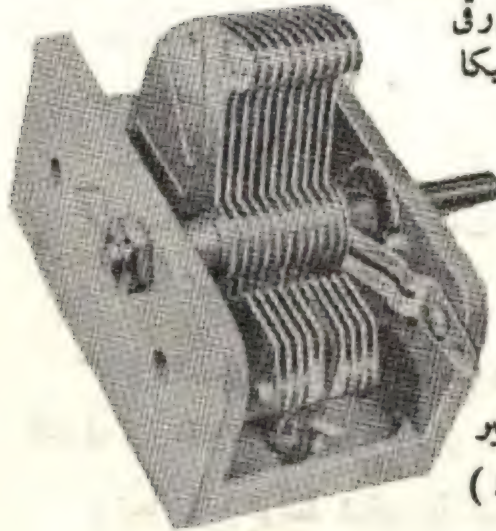
الشكل ١٦٢

الشكل ( ١٥٩ )  
مواسع خزفية  
(VEB Keramische Werke Hermedorf GDR)

الشكل ( ١٦٠ )  
مواسع إلكترونية

الشكل ( ١٦١ )  
مواسع ورقية

الشكل ( ١٦٢ )  
مواسع ميكانيكية



شكل ١٦٣ : مواسع متغيرة  
( حوالي ٥٠٠ بيكو فراد )

( ١ ) المواسعات ذات الموسعة غير المتغيرة :

تصنع المواسعات غير المتغيرة لقيم معينة للموسعة . واعتماداً على جودة المنتج ، ينص عادة على اختلاف قيمها عن هذه القيمة أو المقننات ، كنسبة مئوية ، وذلك بواسطة المنتج . علاوة على ذلك يزود المواسع ببطاقة مقننات ، تعطى معلومات عن الموسعة ، و لجهد المقنن ( وأحياناً جهد الاختبار أيضاً ) وعلامة المنتج وتاريخ الإنتاج .  
والجدول التالي يعطى حصراً للمواسعات ذات الموسعة غير المتغيرة الأكثر شيوعاً في الاستخدام :

النوع	الشكل	الوسط الكهربائي	البطانة	التطبيق
مواسع ورق	شكل مجمع ، أنبوبي ، أسطواني	ورق مشبع بالبارافين ، ورق زيت .	رفيقة ألومنيوم ، معادن مرسب عليها بخار ألومنيوم .	هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية ، مواسعات القدرة غير الفعالة في هندسة التيار القوى
مواسع برقيقة من البلاستيك	أسطواني ، طراز درفين	استير وفلكس	ألومنيوم	معدات القياس اللاسلكية
مواسعات ميكاترونك	مكعبات	ميكاترونك	فئة ، معادن مرسب عليها بخار ألومنيوم	أجهزة المعايرة والقياس التي تعمل بتيار متردد عالي التردد
مواسع إلكترونية	أسطواني	أكسيد ألومنيوم ، هيدروكسيد ألومنيوم	ألومنيوم	مرشحات الموجة ، تسوية التيار المقوم ، المواسعات العالية ذات المساحة الصغيرة لاستعمال التيار المستمر فقط



هندسة الاتصالات اللاسلكية ، المواسعات ، ذات الاستقرار العالي ، استقرار الجهود العالية .	أنبوبى ، على هيئة فنجان كالكيت ، عادة فضة تمبا ، إيسلان	مواسع خزفي
--	--	------------

#### (ب) المواسعات ذات المواسعة المتغيرة :

يمكن تغيير المواسعة المتغيرة في نطاق مدى معين بواسطة نبائط ميكانيكية . وعادة ، تصمم هذه المواسعات على شكل مواسعات ألواح دوارة ( الشكل ١٦٣ ) ، وتصنع من عدد من ألواح معدنية متوازية ثابتة موصلة ببعض وتكون لوحاً واحداً من المراسع ، بينما تكون اللوح الآخر مجمعة أخرى من الألواح المتحركة الموصلة أيضاً ببعض. وبتدوير عمود محور يمكن أن تتداخل المجرعة الثانية في الأولى تداخلاً كبيراً أو صغيراً . وتكون المساحة الفعالة للمواسع هي مسافة ذلك الجزء من الألواح المتداخل مع بعضه البعض فقط . ويشتمل الجدول التالي على قائمة للمواسعات المتغيرة الأكثر شيوعاً في الاستخدام :

النوع	الوسط الكهربائي العازل	التطبيق
مواسع هوائى متغير	هواء	دوائر موالفة التذبذبات
مواسع ورقى متغير	ورق ، رقيقة البلاستيك	دوائر موالفة التذبذبات ، التغذية المرتجعة المعاد توليدها ، الوحدات الصغيرة المتضامة المعرضة لفقد الكبير .
مواسع تشذيب	عادة ، كوندنسان تمبا ، إيسلان	دوائر موالفة التذبذبات ، هندسة القياس بالترددات العالية.

## الفصل الثانى عشر

### التيار المتردد

كان الشرح والنصوص المتعلقة بالتقنيات الكهربائية العامة ، التى بينت فى الأقسام السابقة مقصورة على دوائر التيار المستمر . ومصادر الجهد التى استخدمت فى الأبحاث السابقة ، كانت قبل كل شئ عبارة عن أعمدة جلفانية ، مثل المراكم أو أنظمة التغذية التى توزع جهدا مستمرا من مولدات . وعلى كل ، فالتيار المستمر له أهمية صغرى بالنسبة لمصادر الكهرباء العامة ، لأن كلا من نقل وتوزيع التيار المستمر ، يظهر مضارا لا توجد فى مصادر التيار المتردد . أما اليوم ، فإن أغلبية محطات القوى تولد جهدا مترددا ، كما أن التيار المتردد ينقل إلى كل مكان . والمستهلكون الذين يستخدمون تيارا مستمرا يحصلون عليه بتحويل التيار المتردد بواسطة معدات مناسبة .

١١٢ - التيار المتردد الجيبى :

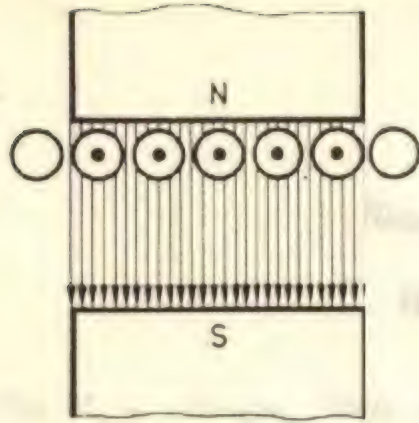
#### ( ١ ) تعريف فكرة التيار المتردد :

للبدء فى مناقشة التيار المتردد نشير إلى الشكل ( ١٢٦ ) ، عندما يمر موصل خلال مجال مغنطيسى ، ينتج بالحث جهد يخضع اتجاه تياره لقاعدة اليد اليمنى ، وإذا كان الموصل خارج نطاق المجال المغنطيسى ، ينخفض الجهد إلى الصفر ، أى لا ينتج الجهد بالحث بعد ذلك ، وعليه لا يسرى تيار . وعندما يمر الموصل مرة ثانية عبر المجال المغنطيسى ، يسرى التيار فى اتجاه عكسى ، ويبين ذلك بالشكل ( ١٦٤ ) .

وإذا تحرك الموصل عبر المجال المغنطيسى ، موازيا لخطوط الفيض ، لا يحدث حث ( الشكل ١٦٥ ) . ويعطى الشكل ( ١٦٦ ) إيضاحا للظاهرة التى تسبب سريان تيار عندما يتحرك موصل ذهابا وإيابا ، طبقا لما هو مبين بالشكل ( ١٦٤ ) . وعندما يؤخذ بالموصل عبر المجال المغنطيسى ، تزداد شدة التيار بسرعة إلى قيمة تظل ثابتة . حتى يترك الموصل المجال المغنطيسى .

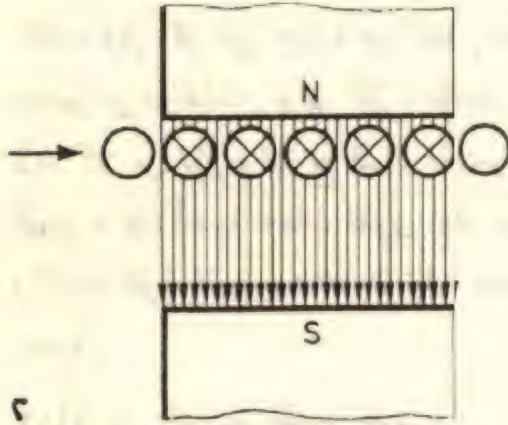
ويبين هذا بالجزء العلوى من المنحنى ( ١ ) من الشكل ( ١٦٦ ) . وعندما يؤخذ بالموصل مرة ثانية عبر المجال ، يزداد التيار مرة ثانية بسرعة ، إلى قيمة تظل كما هى ، حتى يترك الموصل المجال المغنطيسى . وعلى كل فإنه يجب ملاحظة أن اتجاه التيار يكون عكس اتجاه التيار المتبع بالحث فى الحركة الأولى للموصل . كما هو مبين بالجزء السفلى من المنحنى ( ٢ ) بالشكل ( ١٦٦ ) .



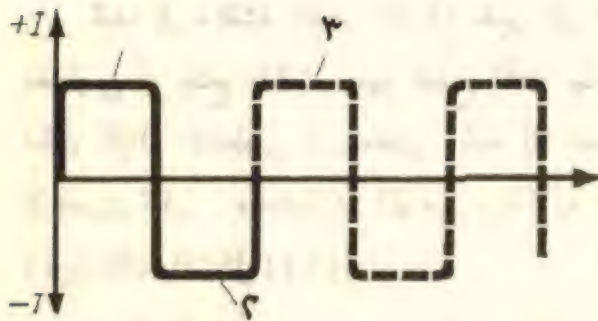


شكل ١٦٤ : اتجاه التيار المنتج بالحث باتجاه عكسي للحركة

- ١ - اتجاه التيار عند التحرك من اليمين إلى اليسار .
- ٢ - اتجاه التيار عند التحرك من اليسار إلى اليمين .



شكل ١٦٥ : عندما يتحرك الموصل في هذا الاتجاه لا ينتج جهد بالحث



شكل ١٦٦ : اتجاه التيار المنتج بالحث عندما يتحرك الموصل دوريا ذهابا وإيابا عبر مجال مغنطيسي

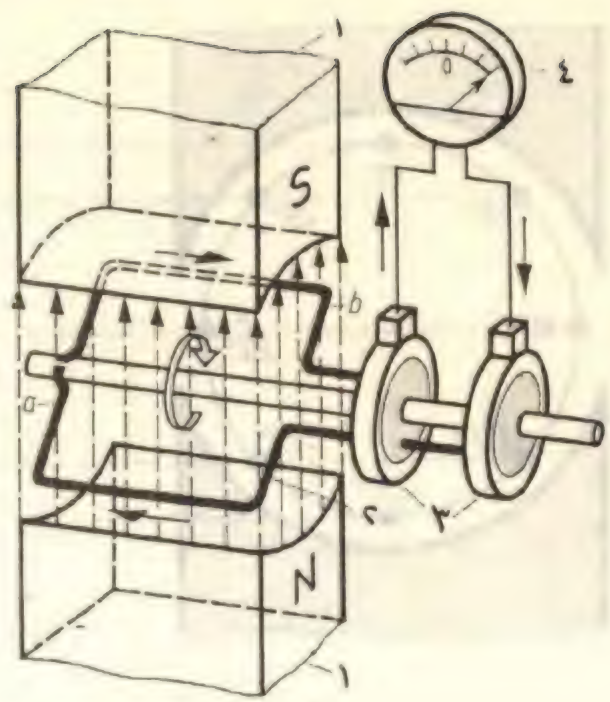
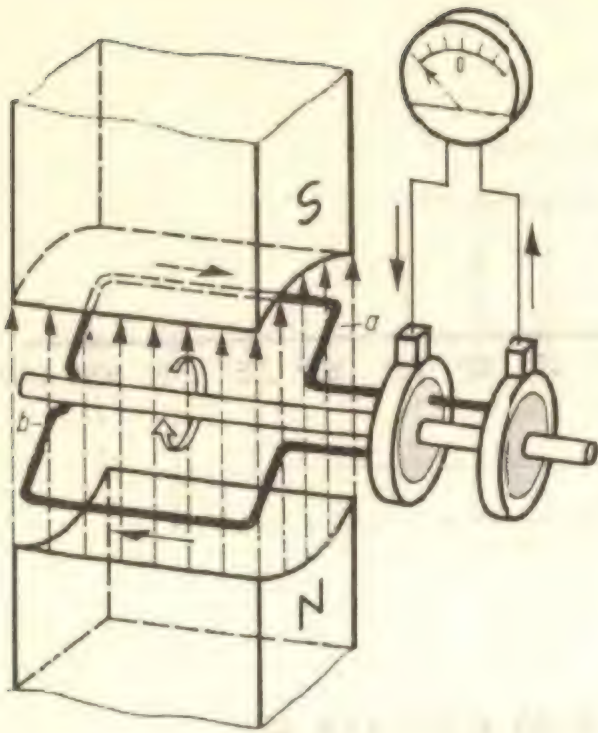
- ١ - إتجاه التيار عندما يتحرك في اتجاه واحد .
- ٢ - اتجاه التيار عندما يتحرك في الاتجاه الآخر .
- ٣ - سريان التيار عندما يتحرك الموصل دوريا .

وإذا تحرك الموصل ذهابا وإيابا دوريا ، نحصل على منحنى تيار ، كما هو مبين بالخطوط المتقطعة ( ٣ ) في الشكل ( ١٦٦ ) . وسريان التيار المنتج بالحث المبين هنا ، هو سريان للتيار المتردد . وهو يتغير باستمرار في الاتجاه والشدة .

#### (ب) الحلقة الموصلة الدوارة في المجال المغنطيسي :

يكون إنتاج جهد متردد بالحث ، بالطريقة المبينة أعلاه ، غير عملي من الناحية الصناعية ، بينما يكون توليد الجهد المتردد ، على أساس الحركة الدورانية ، له فوائده . ويبين الشكل ( ١٦٧ ) مثالا لنموذج لمولد تيار متردد يوضح كيفية إنتاج تيار متردد على النطاق التجارى .





شكل ١٦٨ :

وضع الحلقة بعد نصف دورة

شكل ١٦٧ : نموذج لمولد تيار متردد

- ١ - أقطاب مغناطيسية .
- ٢ - حلقة مستطيلة بمقاطع
- ٣ - حلقة انزلاق .
- ٤ - جهاز قياس .

تصمم الأقطاب المغناطيسية ، بحيث تتحرك الأجزاء المتوازية ( a ، b ) من الحلقة على نفس البعد من السطح الكلي لهما . وعندما نلقى نظرة أقرب ، على مقطع الموصل ( b ) ، نجد أنه يتحرك تجاه الراءى ، بينما يتحرك مقطع الموصل ( a ) بعيدا عن الراءى . ويكون اتجاه سريان التيار في الحلقة مبينا بالأسهم . ويبين في الشكل رقم (١٦٨) نفس مولد التيار المتردد بعد تحرك الحلقة نصف دورة .

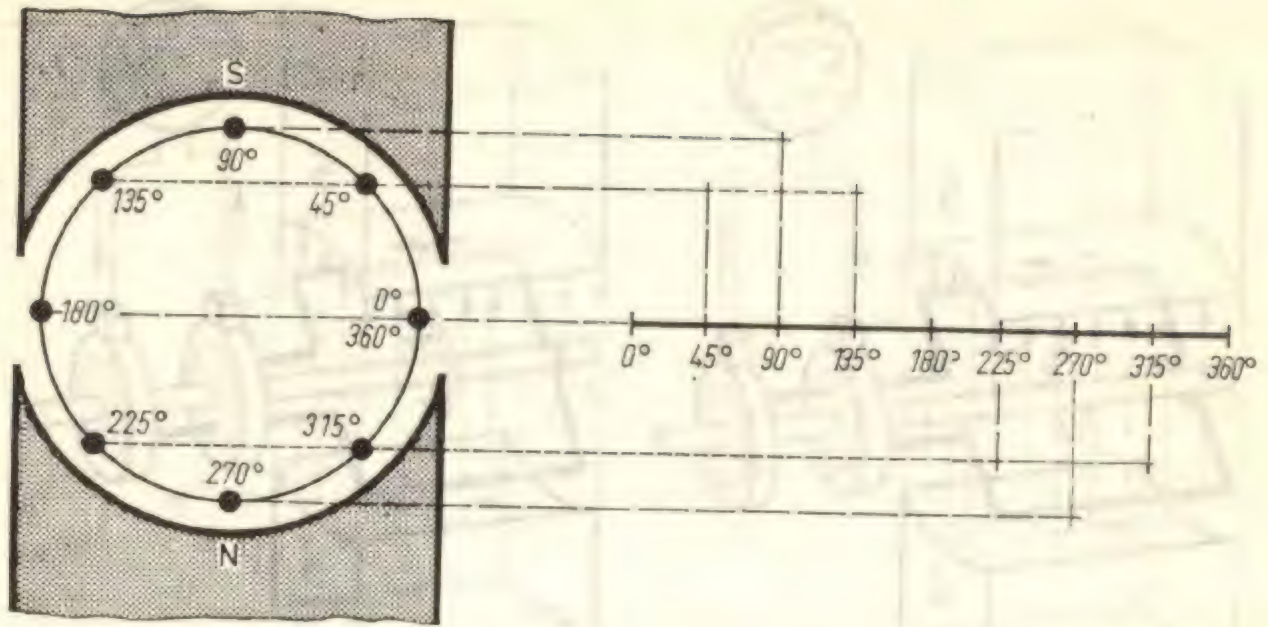
وعندما نلقى نظرة أقرب على مقطعى الموصل ( a ، b ) ، نجد أن اتجاه الحركة واتجاه التيار في أحدهما يكونان عكس الآخر . وعندما تدور الحلقة في نطاق المجال المغناطيسى ، بسرعة منتظمة ، يغير التيار الكهربائى اتجاهه مع كل دورة بمعدل منتظم . ويبين منحنى التيار الذى نحصل عليه بهذه الكيفية بالشكل (١٦٩) .

بتخيل الممر الدائرى ، المرسوم بواسطة مقطع الموصل أثناء دورانه ، نجد أنه يمر خلال الأوضاع : صفر° ، ٤٥° ، ٩٠° ، ١٣٥° ، ١٨٠° ، ٢٢٥° ، ٢٧٠° ، ٣١٥° و ٣٦٠° ( وهذا الوضع الأخير يتطابق مع الوضع صفر° ) ، المبينة على الدائرة في الشكل (١٦٩) .

ويمكن حساب المسافة التى يقطعها مقطع الموصل في دورة واحدة من :

$$ل = ط \times ق$$





شكل ١٦٩ : توليد تيار له منحنى جيبي : أوضاع مقطع الموصل مسقطة على خط مستقيم له أبعاد الممر الدائري

حيث  $L$  = طول المحيط .

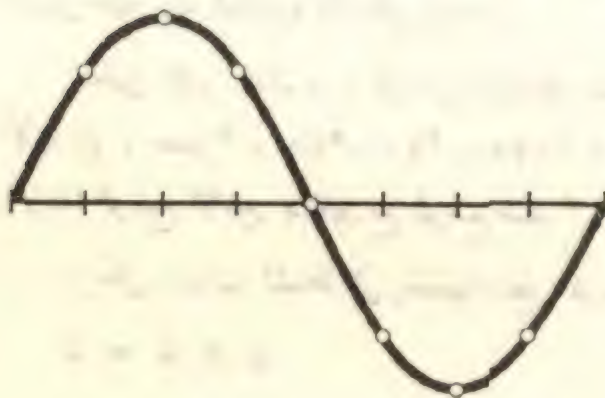
$Q$  = قطر الدائرة .

$P$  = النسبة التقريبية للدائرة .

توقع هذه المسافة على المنحنى قرب الدائرة وعلى مستوى مركزها، ويستدل على نقطة البداية بالرقم صفر ، وعلى نقطة النهاية بالرقم ٣٦٠ . ويمكن التعبير عن أى قسم بين هذه النقط بالآتي :

$$\frac{1}{8} Q \times P$$

وهذا يساوى الفرق الزاوى لوضع ٤٥° . وعند إسقاط أوضاع الموصل ( بدءا بالوضع ٤٥° ) نحصل على نقط أعلى وأسفل الخط المستقيم . وتوصل هذه النقط بمنحنى يمر بها ( الشكل ١٧٠ ) . ويمكن استنتاج ما يلى ، من هذا المنحنى للتيار :



شكل ١٧٠ : توليد تيار له منحنى جيبي مرسوم عبر النقط المسقطة



١ - يزداد التيار من قيمة الصفر ( عند وضع صفر ° ) إلى قيمة قصوى ( عند وضع ٩٠ ° ) .  
٢ - ينخفض التيار من القيمة القصوى ( عند وضع ٩٠ ° ) إلى قيمة الصفر ( عند وضع ١٨٠ ° ) .

٣ - يزداد التيار من قيمة الصفر ( عند وضع ١٨٠ ° ) إلى قيمة قصوى ( عند وضع ٢٧٠ ° ) متخذاً اتجاهها عكسياً .

٤ - ينخفض التيار من القيمة القصوى ( عند وضع ٢٧٠ ° ) إلى قيمة الصفر ( عند وضع ٣٦٠ ° ) .

ويسمى التيار المسار بين الوضعين صفر ° ، ١٨٠ « بالتيار الموجب » . ويسمى التيار المار بين ١٨٠ ° ، ٣٦٠ « بالتيار السالب » . وعلى ذلك يكون لمنحنى التيار الجيبي : قيمة قصوى موجبة ، وقيمة قصوى سالبة . وعند مقارنة النكل ( ١٦٤ ) والشكل ( ١٦٥ ) بالمنحنى المبين في الشكل ( ١٧٠ ) يمكن ملاحظة الآتي : يتحرك مقطع الموصل عمودياً على خطوط المجال خلال فترة قصيرة ، وبالتحديد بين ٩٠ ° ، ٢٧٠ ° . وفي هذين الوضعين ، وخلال هاتين الفترتين ، ينتج بالحث أعلى جهد ، وبالتالي أعلى شدة للتيار . ويكون اتجاه حركة مقطع الموصل موازياً لخطوط المجال فقط خلال فترة قصيرة ، وبالتحديد عند صفر ° / ٣٦٠ ° ، ١٨٠ ° ، وفي هذه الفترات لا ينتج جهد بالحث .

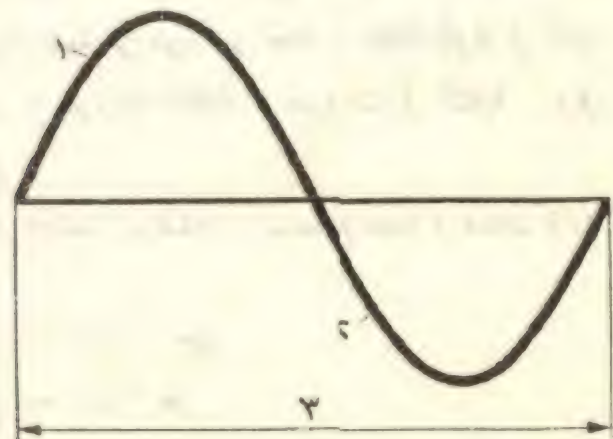
٢/١٢ - كميات لتعيين التيار المتردد :

( ١ ) الموجة والدورة :

لمنحنى التيار المتردد المبين في الشكل ( ١٧٠ ) بضع خصوصيات . ويسمى المنحنى الذي ينتج خلال دورة واحدة لمولدات التيار المتردد « موجة واحدة أو تذبذب واحد » وتتكون الموجة من نصفي موجة أحدهما موجب ( + ) والنصف الآخر سالب ( - ) .

وينتج خلال الدورة الثانية للحلقة في المولد منحنى تيار آخر ، يشابه الأول . تكرر هذه الدورة دورياً أثناء تحرك حلقة الموصل . لذلك تسمى أيضاً الموجة الواحدة أو التذبذب الواحد « دورة » أو « موجة كاملة » .

يبين الشكل ( ١٧١ ) أجزاء المنحنى ومدلولاتها :



شكل ١٧١ :

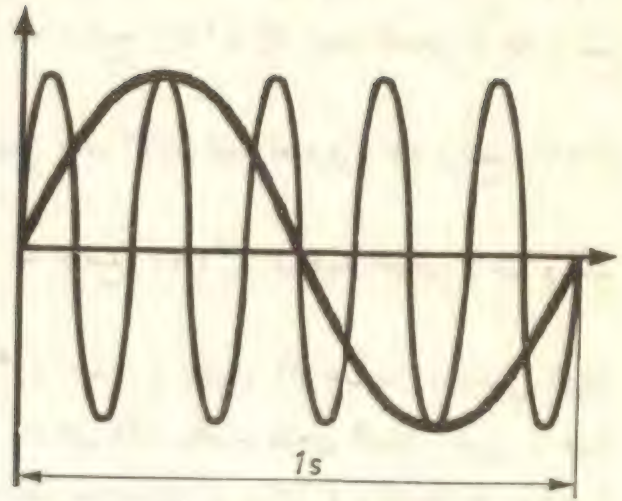
مدلولات أجزاء منحنى جيبي

١ - نصف موجة موجب .

٢ - نصف موجة سالب .

٣ - موجة أو تذبذب أو دورة .





شكل ١٧٢ :

تمثيل الترددات ١ هيرتز ، د هيرتز

### (ب) التردد والدورة :

لحساب عدد مرات إنتاج موجة في وحدة زمن مثل دقيقة واحدة ، يجب الأخذ في الاعتبار المعدل الذي تدور به الحلقة المستطيلة من السلك ، ويتوقف الاستخدام الاقتصادي للتيار المتردد التجاري على عدد معين من الموجات في وحدة زمن . ويستخدم التعبير « تردد » لوصف عدد الدورات لكل ثانية ، لتيار متردد أو جهد متردد . ويعرف التردد على أنه عدد الدورات في الثانية ( إختصاراً د في ث أو د/ث ) . ووحدة أخرى للتردد هي الهيرتز التي تساوى دورة واحدة في ثانية واحدة .

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
التردد	د	هيرتز	هرز

وسميت وحدة الدورة في الثانية بالهيرتز نسبة إلى عالم الطبيعيات الألماني هاينريخ هيرتز Heinrich Hertz ، ( من ١٨٥٧ إلى ١٨٩٤ ) ، والهيرتز هو دورة واحدة في الثانية ، أى أن :

$$١ \text{ هيرتز} = \frac{١}{\text{ث}} \text{ أو } ١ \text{ هرز} = ١ \text{ ث}^{-١}$$

وبين الشكل (١٧٢) الفرق بين تيارين يسريان خلال وحدة زمن مقدارها ثانية واحدة . وفي الشكل المذكور ، يبين المنحنى السميكة موجة منتجة عن دورة واحدة ، حلقة المولد في ثانية واحدة ، بينما يبين المنحنى المرسوم بخط مستمر ، دوران الحلقة ه دورات في الثانية . وفي هذه الحالة ، يكون مقدار هذا التردد ه هيرتز .

وفي الهندسة الكهربائية ، تستخدم ترددات مختلفة . ولذلك ، تستخدم عادة ترددات ذات قيمة مضاعفة لقيمة الوحدة الأساسية ، مثل :

$$١ \text{ كيلو هيرتز} = ١٠٠٠ \text{ هيرتز} = ٣١٠ \text{ هرز}$$

$$١ \text{ ميجا هيرتز} = ١٠٠٠٠٠٠ \text{ هيرتز} = ٦٠ \text{ هرز}$$

وتبين القائمة التالية بعض أمثلة للترددات المستخدمة :

٥٠ هز	تيار متردد تجارى
$16 \frac{2}{3}$ هز	تيار متردد لعمليات السكك الحديدية
٢٥ هز	النداء بدق الجرس فى هندسة الاتصالات
١٠٥٠ هز	مرسل موجة متوسطة مثلاً
٩,٥ ميغا هز	مرسل موجة قصيرة مثلاً
٨٩,٦ ميغا هز	مرسل موجة تردد عالى جداً ( مثلاً )
٦٥ ميغا هز	مرسل تليفزيون مثلاً ، صوت
٥٩ ميغا هز	، صورة

وإذا وجب تحديد زمن الدورة ز لدورة ما ، فإنه يحسب من مقلوب التردد ، وعليه فإن :

$$\frac{1}{\text{التردد}} = \text{الدورة}$$

$$Z = \frac{1}{D}$$

مثال :

ما دورة التردد المستخدم فى عمليات السكك الحديدية ؟

$$\text{المعطيات : } D = 16 \frac{2}{3} \text{ هز}$$

المطلوب : ز

الحل :

$$Z = \frac{1}{D} = \frac{1}{16 \frac{2}{3}} = \frac{1}{16,66}$$

$$Z = 0,6 \text{ ث.}$$

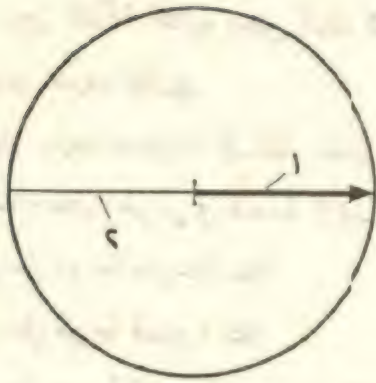
( ج ) التردد الزاوى :

فى بعض الحالات ، يربط النص على الترددات بالسرعة الزاوية . وهذا يعرف بأنه الزاوية التى يتحرك خلالها مؤشر فى وحدة زمن ما ( الشكل ١٧٣ ) . وإذا كان نصف قطر الدائرة المرسومة بواسطة المؤشر ( أو حلقة من سلك موصل ) يساوى واحداً ، يكون محيط هذه الدائرة هو ٢ ط .

والتردد الزاوى  $\omega$  ( أو ميغا ) للتيار المتردد يساوى ٢ ط مضروباً فى التردد د . وعليه فإن :

$$\omega = 2 \pi D$$





شكل ١٧٣ : التردد الزاوي

١ - مؤشر .

٢ - نصف قطر الدائرة .

مثال :

ما التردد الزاوي لتيار متردد له  $16 \frac{2}{3}$  هز ؟

المعطيات :  $d = 16 \frac{2}{3}$  هز

المطلوب : التردد الزاوي  $\omega$

الحل :

$$\omega = 2\pi \times 2,14 \times \frac{50}{3}$$

$$= 104,7 \text{ ث}^{-1}$$

التردد الزاوي لهذا التيار  $104,7 \text{ ث}^{-1}$

(د) طول الموجة :

تشمل البيانات المتعلقة بالمعدات المستخدمة في هندسة الاستقبال والنقل عادة على معلومات حول طول الدورة ( الموجة ) ، معبرا عنها بالمتر أو بوحدة مشتقة منها . ويعرف طول الموجة  $\lambda$  ( لامدا ) بأنه طول موجة معبرا عنه بوحدة الطول . وللمساعدة في تفهم العلاقة بين طول الموجة والتردد، نرجع إلى سرعة الامتداد - الانتشار ( الفصل الثالث ) . وكما قيل من مثل في هذا المجال، تنتشر الكهرباء بسرعة  $300000$  كيلومتر/ث . ويمكن كتابة ذلك أيضا كما يلي :

$$300000 \text{ كيلومتر/ث} = 3 \times 10^8 \text{ كيلومتر/ث} = 3 \times 10^8 \text{ متر/ث}$$

وعندما نربط سرعة الامتداد بالتردد ، نحصل على طول الموجة وهو :

$$\text{طول الموجة} = \frac{3 \times 10^8 \text{ متر/ث}}{\text{التردد}}$$

$$= \frac{3 \times 10^8 \text{ متر/ث}}{d}$$

مثال :

المعطيات : ما طول الموجة لتيار متردد تجارى ؟

$$d = 50 \text{ هز}$$

$$e = 3 \times 10^8 \text{ متر/ث}$$

المطلوب :  $\lambda$

الحل :

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \times 10^8}{6000000} = 0.5 \text{ متر}$$

$$= 6000 \text{ كيلومتر}$$

طول الموجة لتيار متردد تجارى 6000 كيلومتر .

إذا عبر عن الترددات بالكيلو هيرتز ( كيلو هز ) أو بالميجا هيرتز ( ميجا هز ) ، فينصح أولاً بتحويل سرعة الامتداد إلى وحدة مناسبة .

إذا عبر عن التردد بالكيلو هيرتز ، وجب التعبير عن السرعة  $3 \times 10^8$  كيلومتر/ث

إذا عبر عن التردد بالميجا هيرتز ، وجب التعبير عن السرعة  $3 \times 10^8$  ميجا متر/ث

مثال :

ما طول الموجة المرسل يعمل بتردد 1050 كيلو هيرتز ؟

المعطيات :  $\nu = 1050$  كيلو هيرتز

$$c = 3 \times 10^8 \text{ كيلو متر/ث}$$

المطلوب :

الحل :

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{1050} = 285,7 \text{ متر}$$

طول الموجة لهذا المرسل هو 285,7 متر .

مثال :

ما طول الموجة المرسل يعمل بتردد 60 ميجا هرتز ؟

المعطيات :  $\nu = 60$  ميجا هيرتز

$$c = 3 \times 10^8 \text{ ميجا متر/ث}$$

المطلوب :  $\lambda$

الحل :

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$



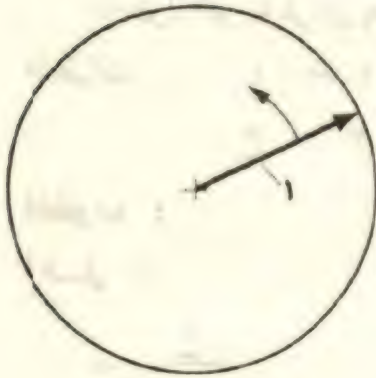
$$\frac{210 \times 3}{60} =$$

$$= 5 \text{ متر}$$

طول الموجة لهذا المرسل هو ٥ متر

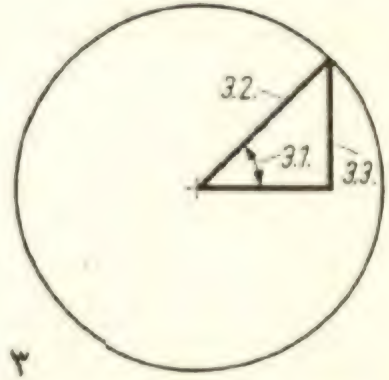
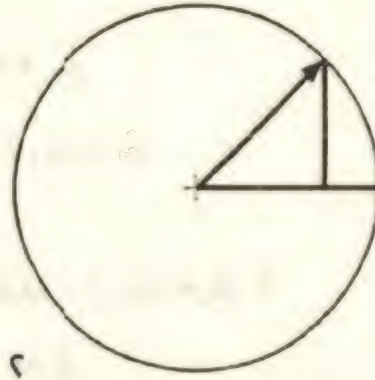
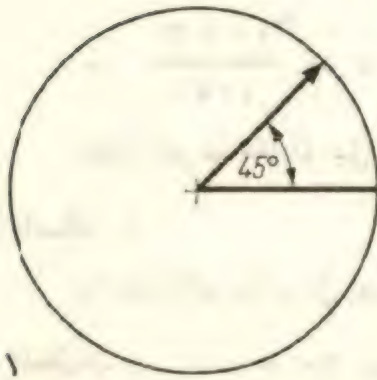
( ٥ ) قيم الذروة ، والقيم اللحظية ، للجهد المتردد والتيار المتردد :

عندما أوضحنا المنحنى الجيبى للتيار المتردد ( الشكل ١٧٠ ) ، لاحظنا قيمتين قصويتين ( عند وضع ٥٩٠ ، ٥٢٧٠ ) وقيمتي صفر ( عند وضع صفر / ٥٣٦٠ ، ٥١٨٠ ) . وعلى كل حال ، فإن أداء مصباح متوهج موصل بنظام تغذية للتيار المتردد التجارى العادى لا يظهر أى زيادة أو إنخفاض فى شدة التيار أو الجهد . وبالمثل ، لا يدور محرك كهربائى موصل بمصدر تيار متردد ، بسرعة منخفضة أو عالية ، تبعا لدورية حث التيار . ويمكن فهم هذه الحقيقة ، على غرابتها ، بوصف خصوصيات الجهود والتيارات المترددة المميزة عن الجهود والتيارات المستمرة .



شكل ١٧٤ : تمثيل المتجه

١ - طول المتجه ل يساوى ج د .



شكل ١٧٥ : دالة جيب فى دائرة التيار المتردد

١/٣ زاوية  $\alpha$  : ٤٥°  
٢ ٣ الوتر .  
٣/٣ المنايل

١ - وضع المتجه عند ٤٥°  
٢ - إسقاط عمود  
٣ - وصف المثلث

## تمثيل المتجه :

يبين الشكل (١٧٤) دائرة كهربائية مناظرة ، يمكن أن يدور فيها متجه في عكس عقارب الساعة . لنفرض أن طول المتجه يساوى جهداً أقصى . تسمى هذه القيمة بقيمة الذروة ج ز ، تبلغ قيمة الجهد قيمة الذروة مرتين ، خلال دورة واحدة للمتجه ( عند وضع  $^{\circ}90$  ،  $^{\circ}270$  ) .  
يبين الشكل (١٧٥) وضع المتجه عند  $^{\circ}45$  . عند هذا الوضع لمقطع الموصل على المعر الدائري ، ينتج بالحث جزء معين من قيمة الذروة للجهد . ويمكن تحديد قيمة هذا الجزء من الشكل (١٧٥-٢) وعند رسم عمود من نقطة رأس السهم على المستوى ، نحصل على مثلث قائم الزاوية ( الشكل (١٧٥-٣) ودالة الجيب .

$$\text{جيب } \infty = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}} \text{ للمثلث .}$$

## (و) تعيين القيمة اللحظية :

يسقط عمود في كل من المدى الموجب والمدى السالب ، بحيث نحصل على مثلث قائم الزاوية . وعلى كل ، فإنه لا يمكن تطبيق ذلك على أوضاع المتجه عند صفر  $^{\circ}$  ،  $^{\circ}90$  ،  $^{\circ}180$  ،  $^{\circ}270$  ،  $^{\circ}360$  .

وفي هذه الحالات لا يمكن تكوين مثلث للاستطراد في هذا الشرح . نفرض أن قيمة الذروة للجهد ج ز هي  $311$  فلت .

يمكن حساب الجهد عند وضع  $^{\circ}45$  من دالة الجيب . جيب  $\infty \times$  الوتر . وعليه يمكن كتابة القيمة اللحظية ج = جيب  $\infty \times$  ج ز .

وتعطي قيمة جيب  $^{\circ}45$  في الجداول ، وهي  $0,707$  ، بحيث نجد :

ج =  $0,707 \times 311$  فلت ، ج =  $220$  فلت وتكون القيمة اللحظية ج لجهد متردد بقيمة ذروة ج ز =  $311$  فلت ، وهي  $220$  فلت عندما يكون وضع حلقة الموصل عند  $^{\circ}45$  .

## مثال :

إذا كانت قيمة الذروة لجهد متردد  $538$  فلت فما القيمة اللحظية عندما يكون المتجه عند  $^{\circ}30$  ؟

المعطيات : ج ز =  $538$  فلت .

جيب  $^{\circ}30 = 0,5$



المطلوب : ج

الحل :

$$ج = جيب ٣٠^\circ \times ج ز$$

$$٥٣٨ \times ٠,٥ =$$

$$= ٢٦٩ \text{ فلط}$$

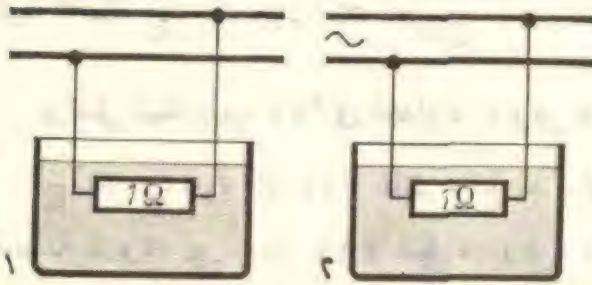
القيمة اللحظية لهذا الجهد ٢٦٩ فلط .

( ز ) القيمة الفعالة للجهد المتردد والتيار المتردد :

يبين الشكل (١٧٦) ترتيبتين لدائرتين تساعدان في تعيين الشغل ش الذي يبذله تيار كهربائي .  
في الحالة الأولى ، يوصل مقاوم قيمته  $\Omega ١$  ، في دائرة تيار مستمر . ولنفرض أن قيمة الذروة  
لهذا التيار المستمر = ٣ م .

وفي الحالة الثانية ، يستخدم مصدر للجهد المتردد . يفترض أن تيارا بقيمة ذروة ت ز  
= ٣ أمبير ، يبذل شغلا في مقاومة قيمتها  $\Omega ١$  . ويمكن إيجاد الشغل الذي تبذله التيارات  
بواسطة أجهزة قياس الحرارة .

ويمكن بمساعدة ترتيبات دائرية مثل هذه ، وأجهزة قياس مناسبة ، إجراء اختبارات تبين  
أن للشغل المبذول بواسطة التيار المستمر ، قيمة أعلى اعتباريا من الشغل المبذول بواسطة التيار  
المتردد تحت نفس الشروط المعطاة . وسيناقش سبب وجود هذا الفرق والعلاقة بين هذين الشكلين  
للشغل فيما بعد .



شكل ١٧٦ : هذا الشكل يساعد في تبين

الشغل الذي يبذله التيار ش

١ - الشغل المبذول بواسطة التيار المستمر .

٢ - الشغل المبذول بواسطة التيار المتردد .

وفي الجزء الأول ، الفصل الثامن وجد أن شغل تيار كهربائي ( في دوائر التيار المستمر )

يساوي :

$$ش = ج \times ت \times ز$$

وحيث أن ج = ت  $\times$  م ، فإننا نحصل على

$$\text{ش} = \text{ت} \times \text{م} \times \text{ت} \times \text{ز} \quad \text{أو}$$

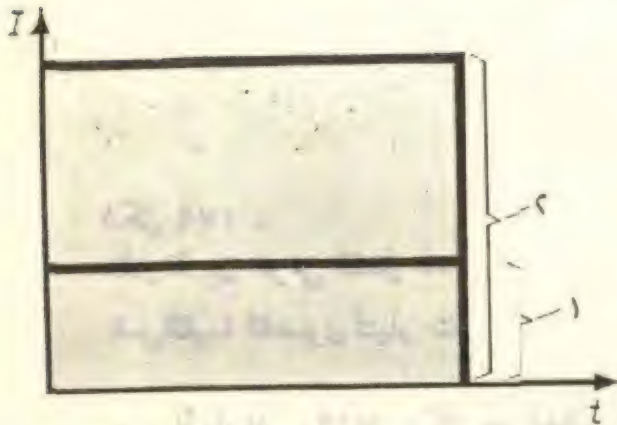
$$\text{ش} = \text{ت}^2 \times \text{م} \times \text{ز}$$

في هذا المثال ، اختيرت مقاومة م قيمتها ١ أوم ، وحيث أن العامل ١ ليس له تأثير على التطور المطرد فيمكن إهماله ، وعليه :

$$\text{ش} = \text{ت}^2 \times \text{ز}$$

ويمكن الحصول على التمثيل التخطيطي للشغل ش ، المبذول بواسطة التيار المستمر ، تحت نفس الشروط المعطاة بشكل مساحة توقع على محور الزمن ( الشكل ١٧٧ ) . وبالمثل فإنه يمكن تمثيل الشغل المبذول ، بواسطة التيار المتردد ، تحت نفس الشروط المعطاة ، في شكل مساحة توقع على محور الزمن ( الشكل ١٧٨ ) . في هذا المنحنى ، تكون مساحة نصف الموجة السالبة أيضا أعلى محور الزمن حيث أن :

$$- \text{ت} \times \text{ز} - \text{ت}^2 = + \text{ت}^2 \times \text{ز} .$$



شكل ١٧٧ :  
تمثيل الشغل المبذول بواسطة التيار المستمر

$$1 - \text{ت} = \text{ز}$$

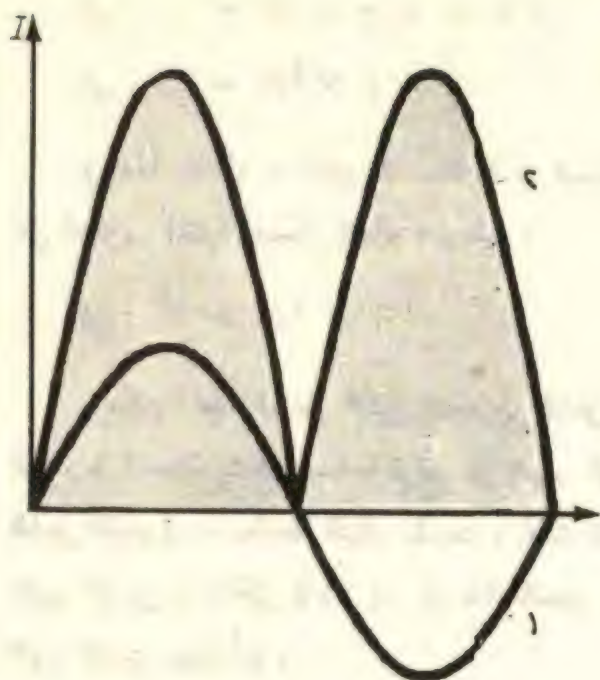
$$2 - \text{ت}^2 = \text{ز}$$

وعند تكوين مساحة مستطيلة من المساحة المحاطة بخطوط كونتور في هذا المنحنى ، يكون من الواضح أن المساحة المستطيلة التي يحصل عليها بهذه الكيفية تكون أصغر ، بقيمة معينة ، من المساحة المستطيلة ، التي تمثل الشغل المبذول بواسطة التيار المستمر ( الشكل ١٧٨ ) . وقد بينت هاتان المساحتان في منحنى واحد للمقاومة في الشكل ( ١٧٩ ) .

من هذه المقارنة يمكن استنباط الخلاصات الآتية :

$$1 - \text{يكون الشغل المبذول بواسطة تيار متردد هو } \frac{\text{ت}^2}{2} \text{ ، عند نفس قيمة الذروة ت}^2$$

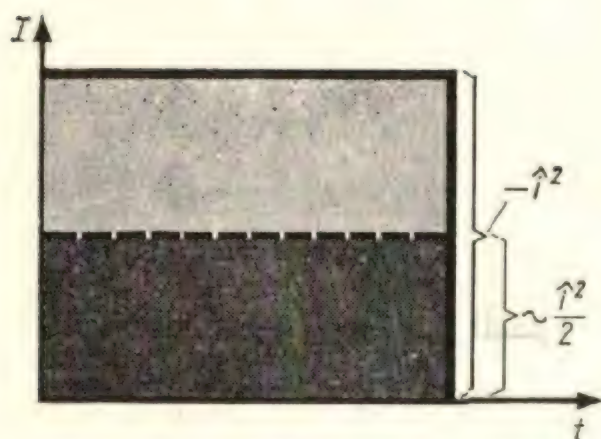




شكل ١٧٨ :  
تمثيل الشغل المبذول بواسطة التيار المتردد

١ - منحنى  $i$  جيبي .

٢ - منحنى  $i^2$  جيبي .



شكل ١٧٩ :  
مقارنة بين نوعي الشغل عند  
نفس القيمة القصوى للتيار  $i$

٢ - لأداء نفس الشغل ، كما هو الحال بالنسبة للتيار المستمر بقيمة  $i$  ، يجب أن تكون

$$\text{قيمة التيار المتردد هي } \sqrt{\frac{i^2}{2}} \times t = 1,414 \times i \times t .$$

٣ - يسمى التعبير  $\frac{i^2}{2}$  بمربع القيمة المتوسطة أو القيمة الفعالة للتيار المتردد ، ومن

هذا يلي :

$$\frac{i^2}{2} = i_{\text{eff}}^2 , \quad \frac{i^2}{2} = i_{\text{eff}}^2 , \quad i_{\text{eff}} = 0,707 \times i$$

٤ - بالمثل فبالنسبة للجهد المتردد نجد :

$$J_z = \frac{J_z^2}{2} = J_z \cdot \frac{J_z}{2} = J_z \cdot 0,707 \times J_z$$

٥ - من هذا ، تعين قيمة الجهد وشدة التيار في شكل العلانة :

$$J_z = J_z \cdot \sqrt{2} = J_z \times 1,414$$

$$J_z = T_z \cdot \sqrt{2} = T_z \times 1,414$$

تكون القيمة الفعالة لجهد وشدة تيار جيبيين متغيرين هي ٠,٧٠٧ مضروباً في قيمة الذروة للجهد أو شدة التيار .

بهذه التعاريف لقيمة الذروة ، والقيمة اللحظية ، والقيمة الفعالة للجهد وشدة التيار المتردد ، أهمية عملية في بناء مولدات التيار المتردد . وعلى سبيل المثال لا الحصر في الحياة العملية ، تنسب قيم الجهود المترددة والتيارات المترددة إلى القيم الفعالة للكبات المناظرة لها .

١٢/٣ - المقاومات الأومية ، والحثية ، والسعوية في دائرة اتيار المتردد :

( أ ) المقاومات الأومية في دائرة التيار المتردد :

لقد وصفنا في القسم الأول - الفصل السادس ، في مجال الحديث عن المقاومات ، بضع مقاومات ( مقاومات من السلك الملفوف ، مقاومات كربونية ، مقاومات متغيرة ) ويتبع تصرف هذه المقاومات في دائرة التيار المستمر قانون أوم . لنبحث الآن ما إذا كان مثل هذا المقاوم ، سيتبع قانون أوم ، أيضاً ، أم لا ، عندما يوصل في دائرة تيار متردد . وكما سبق ذكره تبين أجهزة القياس الشائعة الاستخدام قوماً فعالة للجهد المتردد والتيار المتردد . وإذا وصل مقاوم من النوع المبين أعلاه ، في دائرة تيار متردد ، نجد أن تصرفه يطابق قانون أوم أيضاً ( الشكل ١٨٠ ) .

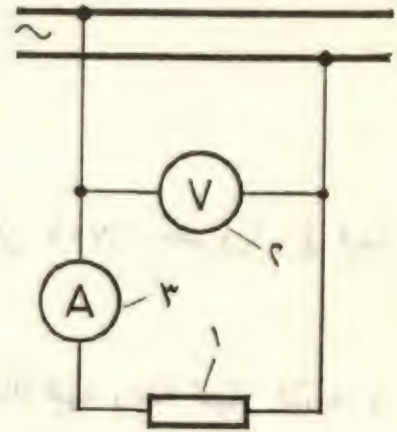
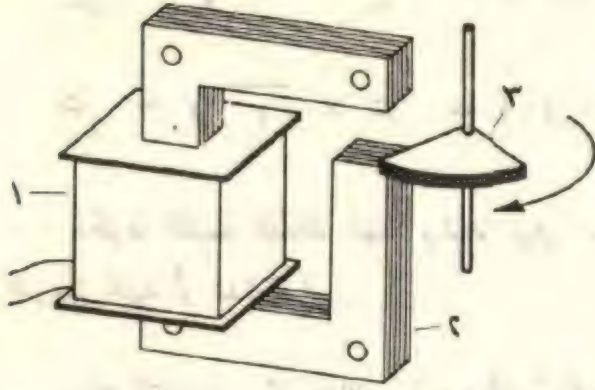
تسمى المقاومات في دائرة التيار المتردد ، التي تتبع قانون أوم ، بالمقاومات الفعالة .

( ب ) المقاومات الحثية في دائرة التيار المتردد :

تعرف المقاومات الحثية بالمقاومات التي تحكمها قوانين الحث الذاتي ( القسم الأول - الفصل العاشر ) . والتعبير العام لنبيطة أو عنصر دائرة كهربائية له محاثية هو « ملف محاث »



لأن المقاومات الحثية تسمى أيضا « المحاثات » . مثل ملفات المحاثة هذه تكون مغنطيسيات كهربائية ، أو ملفات بقلب حديد أو بدونه ، أو لفيفات في محركات ، أو مولدات كهربائية . وتشير المناقشة التالية إلى ملف كايح للتيار ، مزود بقلب حديد ، يمكن ضبطه . وهذا الملف يكون عبارة عن ملف محاث ، لأن له محاث . ويمكن تغير الحث المغنطيسي له بواسطة القلب الحديد . والملف الكايح عبارة عن عينة ممثلة لكل الأنواع الأخرى من ملفات المحاثات ( الشكل ١٨١ ) .



شكل ١٨١ : ملف متغير كايح للتيار

شكل ١٨٠ : قياس الجهد وشدة التيار في

١ - ملف .

دائرة تيار متردد

٢ - قلب حديد .

١ - مقاومة أومية . ٢ - فلطمتر .

٣ - نبيلة ضبط ( لتغير ثغرة الهواء ) .

٣ - أميتر .

### ( ج ) تصرف ملفات المحاثة في دائرة التيار المستمر :

يبين الشكل ١٨٢ ترتيبية لدائرة تشتمل على مصباح متوهج ، وملف كايح للتيار ، موصلين على التوالي . توصل هذه الدائرة بمصدر جهد مستمر . يفترض أن المقاومة الأومية لعنصرى الدائرة معروفة . عند تشغيل ترتيبية الدائرة هذه ، يفترض أن يكون الجهد وشدة التيار بحيث يضىء المصباح المتوهج . عندما تنخفض شدة التيار واجهد عبر عنصرى الدائرة نجد أن عناصر الدائرة تتصرف طبقا لقانون أوم . وفى هذه الحالة ، يتصرف أيضا الملف الكايح للتيار طبقا لقانون أوم . لنبحث الآن ما إذا كانت قيمة الحث تبذل تأثيرا خاصا على تصرف الملف الكايح للتيار في دائرة التيار المستمر . عندما يتغير الحث المغنطيسي للملف الكايح للتيار ، في دائرة كهربائية مقفلة ، أى عندما تنخفض أو تزداد ثغرة الهواء ، بواسطة قطعة الحديد المتحركة ، يستمر المصباح المتوهج في الإضاءة دون تغير .

إذا احتوت دائرة تيار مستمر على ملف محاث ، فكون مقاومته الأومية فقط هي فعالة .

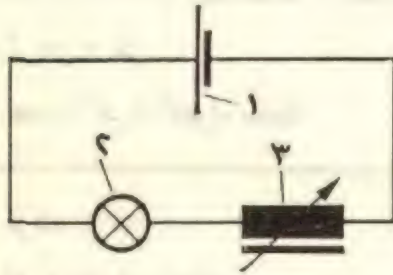


#### (د) تصرف ملفات المحاثة في دائرة التيار المتردد :

فيما يلي وصف لترتيبة اختبار ، يمكن بمساعدتها ملاحظة تصرف ملفات المحاثة في دائرة التيار المتردد .

وفي هذا المجال ، يجب ملاحظة أنه يمكن تشغيل جهاز كهربائي موصل في دائرة تيار مستمر ، بواسطة مفتاح كهربائي يسمى مغير القطب ، كيفية ما بحيث يتغير اتجاه التيار المار في الجهاز دوريا .

يبين الشكل (١٨٣) ترتيب دائرة تحتوي على مفتاح كهربائي حراري ، ومتابع ، وملف كابح للتيار المتغير ومصباح متوهج . ويشبه أساس تصميم المفتاح الكهربائي الحراري التصميم الخاص بوحدة ومضة لمبين الاتجاه بالضوء المستخدم في السيارات . ويشتمل المفتاح الكهربائي على مقاوم تسخين متغير ، مصمم لضبط التردد في نطاق المدى من ١ إلى ٢ هز . وعندما تغذى ترتيبية الدائرة هذه ، يسخن مقاوم التسخين لمفتاح الكهربائي الحراري . وتبعا لذلك يقفل المفتاح ، ويشغل المتابع . في هذه اللحظة ، يعكس اتجاه التيار عبر المصباح المتوهج والملف الكابح للتيار المتغير ، وفي نفس الوقت تقطع التوصيلة إلى المفتاح الكهربائي الحراري ويشغل المتابع .

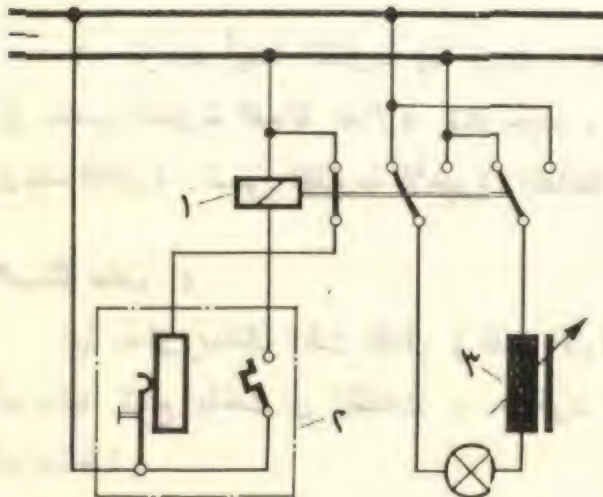


شكل ١٨٢ : تصرف ملف كابح للتيار في دائرة تيار مستمر

١ - مصدر للجهد .

٢ - مصباح متوهج .

٣ - ملف متغير كابح للتيار .



شكل ١٨٣ :

ترتيبة تبين تصرف ملفات المحاثة في دوائر التيار المتردد

١ - متابع .

٢ - مفتاح كهربائي حراري .

٣ - مصباح متوهج وملف متغير كابح للتيار .



تعاد نفس الدورة ، عندما يشغل المتابع ثقفل ملامسات المفتاح الكهربائي الحرارى ،  
ويغذى المصباح المتوهج والملف الكابح للتيار بتيار ذى اتجاه عكسى . يعطى الجدول التالى  
شروط الاختبار التى تشغل تحتها ترتيبية الدائرة هذه وكذلك النتائج التى يحصل عليها :

شروط الاختبار	النتيجة
تردد ١ هز ثغرة الهواء حرة	يشع المصباح ضوءا خافتا ، بمقارنته بالضوء الذى يشعه المصباح عند تشغيله بالتيار المستمر .
تردد ١,٥ هز ثغرة الهواء حرة	يكون الضوء أخفت منه فى الحالة السابقة .
تردد ٢ هز ثغرة الهواء حرة	يكون الضوء أخفت منه مع تردد ١,٥ هز
تردد ١ هز نصف ثغرة الهواء مقفلة	يكون الضوء أخفت منه مع تردد ١ هز ، ثغرة الهواء حرة .
تردد ١ هز ثغرة الهواء مقفلة	يكون الضوء أخفت منه مع تردد ١ هز ونصف ، ثغرة الهواء مقفلة .

ومن هذا يستخلص الآتى :

- ١ - تزداد المقاومة بازدياد التردد فى دائرة التيار المتردد التى تحوى ملفات محاثية .
- ٢ - تزداد أيضا المقاومة إذا ازداد الحث المغنيسى للملف فى دائرة تيار متردد .  
إلى جانب المقاومة الفعالة لدائرة تيار متردد ، يمكن حدوث مقاومة ناتجة عن ملفات المحاثية  
فى هذه الدائرة . تسمى المقاومة الأخيرة « المفاعلة الحثية » .

محاثية ملف :

فيما يتعلق بمناقشة الحث الذاتى ( القسم الأول - الفصل العاشر ) ، يمكننا ملاحظة أن طاقة  
كهربائية تنتج بالحث فى الملفات ، ويكون اتجاهها الفعال عكس الاتجاه الفعال للطاقة  
المولدة لها .

وإذا تغيرت شدة التيار في ملف بمقدار أمبير واحد ، في دقيقة واحدة ، وإذا أنتج بالحث في نفس الوقت جهد قيمته فلف واحد في هذا الملف ، يكون الملف محاثته قيمتها

$$\frac{1 \text{ فل ث}}{\text{مب}} = \frac{\text{و ب}}{\text{مب}}$$

ووحدة المحاثته  $\frac{1 \text{ و ب}}{\text{مب}}$  تسمى هنرى نسبة إلى عالم لطبيعيات ج . هنرى ( J . Henry )  
( ١٧٩٧ - ١٨٧٨ ) .

$$1 \text{ هنرى} = \frac{1 \text{ و ب}}{\text{مب}}$$

ورمز المحاثته هو ح

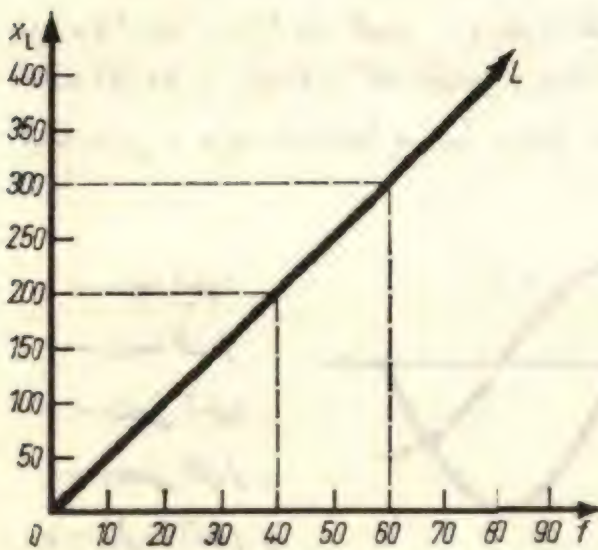
المفاعلة الحثية وتعيينها : يمكن التحقق بالاختبارات من أن المفاعلة الحثية مف لملف ما هي حاصل ضرب التردد الزاوى  $\omega$  في المحاثه ح ، وعليه فإن :

$$\text{مف ح} = \omega \times \text{ح}$$

ونحصل على وحدة المفاعلة الحثية مف ح من

$$\Omega = \frac{\text{فل ث}}{\text{مب}} = \frac{\text{فل ث}}{\text{مب}} \times \frac{1}{\text{ث}} = \frac{\text{و ب}}{\text{مب}} \times \frac{1}{\text{ث}}$$

ويبين الاعتماد المتبادل بين التردد الزاوى ، والمحاثه ، والمفاعلة الحثية بالشكل ( ١٨٤ ) .  
ومحاثه الملف المستخدمة في هذا الاختبار هي ٥ هنرى .



شكل ١٨٤ : العلاقات المتبادلة بين

$$L , X_L , \omega$$

حيث  $\omega$  = السرعة الزاوية للتردد .

$$X_L = \text{مف ح} = \text{المفاعلة الحثية} .$$

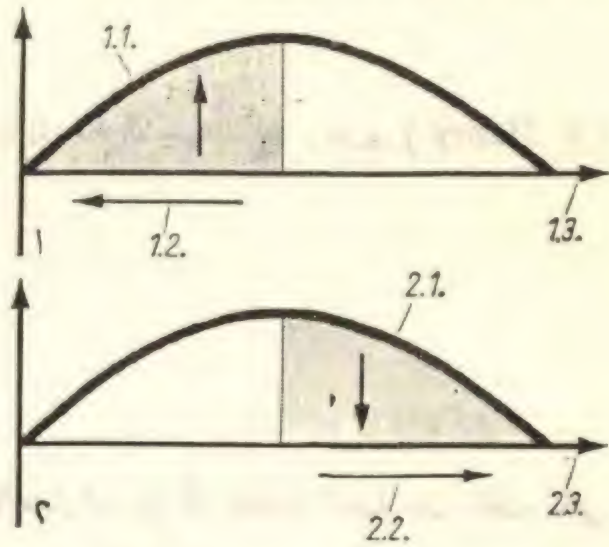
$$L = \text{ح} = \text{الحث} .$$



## المحاث والعلاقة المؤقتة بين الجهد والتيار :

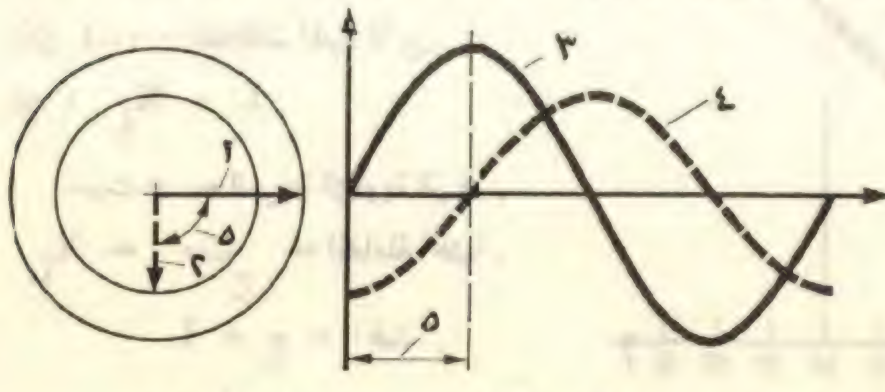
لقد نوقش تصرف ملف في دائرة تيار مستمر على أساس الحث الذاتي ، ويفسر هنا تأثير الحث الذاتي على الجهد المتردد والتيار المتردد :

- شكل ١٨٥ :
- الجهد المنتج بالحث في ملف محاث خلال نصف دورة
- ( ١ ) -  $1/1$  - طور المجال النامي .  
 -  $2/1$  - اتجاه الجهد المنتج بالحث .  
 -  $3/1$  - اتجاه التيار المتردد .
- ( ٢ ) -  $1/2$  - طور المجال المتلاشي .  
 -  $2/2$  - اتجاه الجهد المنتج بالحث .  
 -  $3/2$  - اتجاه التيار المتردد .



يبين الشكل ( ١٨٥ - ١ ) تكوين المجال المغنطيسي لملف محاث ، واتجاه القوى الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث ، بينما يبين الشكل ( ١٨٥ - ٢ ) خبو هذا المجال ، واتجاه القوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث ، خلال نصف موجة . وإذا ضمت لدائرة كهربائية ملفات محاث خارجية ( وهذا لا يحدث في الحياة العملية ) ، فيمكن بسهولة شرح الظاهرة التي تحدث في دائرة تيار متردد ، والمبينة في الشكل ( ١٨٥ ) ، ولا يمكن زيادة جهد متردد مسلط لملف محاث بين الوضعين صفر ،  $90^\circ$  إلى درجة كما هو الحال إذا حملت الدائرة بمقاومات فعالة .

ونتيجة للقوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث التي يكون اتجاهها ، عكس اتجاه الجهد المتردد ، يكون الأخير متعادلا ولو جزئيا . وحيث أنه لا يمكن أن يسرى تيار كهربائي ، دون وجود فرق جهد ، فيسرى التيار في هذه الحالة فقط إذا انخفض الجهد المتردد في الوضعين من  $90^\circ$  إلى  $180^\circ$  إلى الصفر . ويكون للقوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث نفس اتجاه الجهد المتردد . ويضاف كلا الجهدين ويعملان بحيث ، يظهر جهد منتج بالحث عند جهد متردد قيمته صفر ، وبهذه الكيفية يمر تيار ويصل الجهد المتردد المسلط إلى قيمة الصفر ويغير اتجاهه .



- ١ - متجه الجهد .  
 ٢ - متجه التيار .  
 ٣ - منحنى الجهد .  
 ٤ - منحنى التيار .  
 ٥ - زاوية الطور .

شكل ١٨٦ : فرق الطور بين الجهد والتيار في حالة حمل حثي بحت



يسمى الفرق المؤقت بين الجهد والتيار « إزاحة الطور » أو « فرق الطور » ( الشكل ١٨٦ ) .  
ويعبر عن قيمة فرق الطور بزاوية الطور  $\phi$  .

إذا كانت هناك ملفات محاثية في دائرة تيار متردد : يحدث فرق مؤقت بين ظهور الجهد والتيار . ويقال عن التيار الذى يظهر متأخرا بأنه متخلف في الطور .

#### ( هـ ) المفاعلات السعوية في دائرة التيار المتردد :

##### تصرف المواسعات في دائرة التيار المستمر :

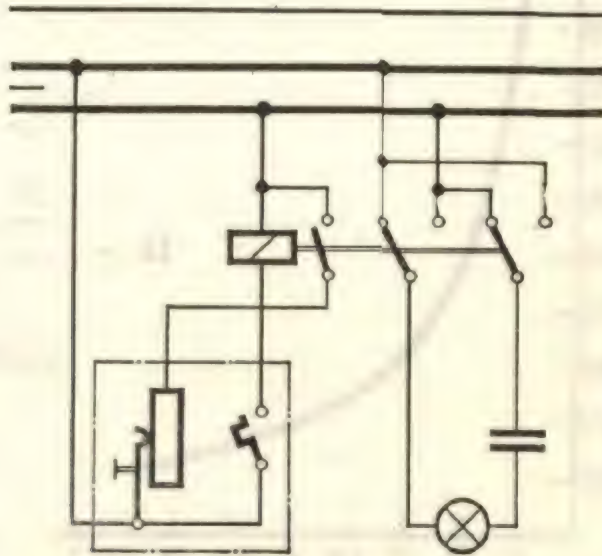
تسمى النبيلة الكهربائية التي لها مواسعة « المواسع » . وأظهرت مناقشة المجالات الكهربائية المتجانسة أن المواسع الذى يوصل لدائرة تيار مستمر يشحن ، وأنه لا يسمح بمرور تيار خلال مواسع مشحون . وعندما يعتبر مواسع كأنه مقاوم تكون للمقاومة م للمواسعة ، في دائرة التيار المستمر ، قيمة لا نهائية (  $\infty = M$  ) .

للمواسعات في دائرة التيار المستمر مقاومة لا نهائية القيمة .

##### تصرف المواسعات في دائرة التيار المتردد :

لبحث تصرف مواسع في دائرة تيار متردد ( الشكل ١٨٧ ) تستخدم نفس الترتيبة المبينة في الشكل ( ١٨٣ ) . ويستخدم بدلا من الملف الكابح للتيار مواسع . وكما في اختبار المحاثات ، تبين شروط الاختبار والنتائج التي يحصل عليها في حالة المواسعات في دائرة التيار المتردد على شكل جدول :

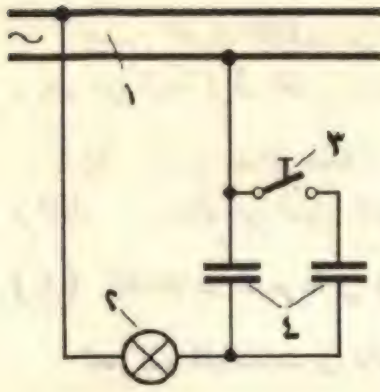
النتيجة	شروط الاختبار
لا يضيء المصباح	تردد ١ هز
يشع المصباح ضوءا خافتا	تردد ١,٥ هز
يشع المصباح ضوءا أكثر	تردد ٢ هز



شكل ١٨٧ :

ترتيبة تبين تصرف المواسعات  
في دوائر التيار المتردد





شكل ١٨٨ : ترتيبية تبين تصرف المواسعات ذات المواسعات المنخفضة والعالمية في دوائر التيار المتردد  
 ١ - تردد المصدر = ٥٠ هز  
 ٢ - مصباح متوهج .  
 ٣ - مفتاح كهربائي .  
 ٤ - مواسعات .

يبين الشكل (١٨٨) ترتيبية دائرة يوصل فيها مواسع آخر على التوازي ، مع مواسع موصل على التوازي مع مصباح ، عن طريق مفتاح كهربائي . لنفرض أن التردد هو ٥٠ هز ، ويكون للمواسع المختار قيمة ، بحيث يشع عندها المصباح المتوهج ضوءا خافتا عند فتح المصباح الكهربائي . وعند تشغيل المفتاح الكهربائي ، لتوصيل المواسع الثاني بالمواسع الأول على التوازي ، تتضاعف القدرة الضوئية للمصباح . ومن الواضح أن المقاومة تنخفض بازدياد المواسعة ، ومن هذا :

١ - تنخفض المقاومة بازدياد التردد ، في دائرة تيار متردد لها مواسعات .

٢ - تنخفض المقاومة بازدياد المواسعة ، في دائرة تيار متردد .

تسمى المقاومة الناتجة عن المواسعات في دائرة تيار متردد بالمفاعلة السعوية .

المفاعلة السعوية وتعريفها :

يمكن التحقق بالاختبارات من أن المفاعلة السعوية مـفـ هي مقلوب حاصل ضرب التردد

الزاوي في المواسعة س ، وعليه فإن :

$$\text{مـفـ س} = \frac{1}{\omega \times \text{س}}$$

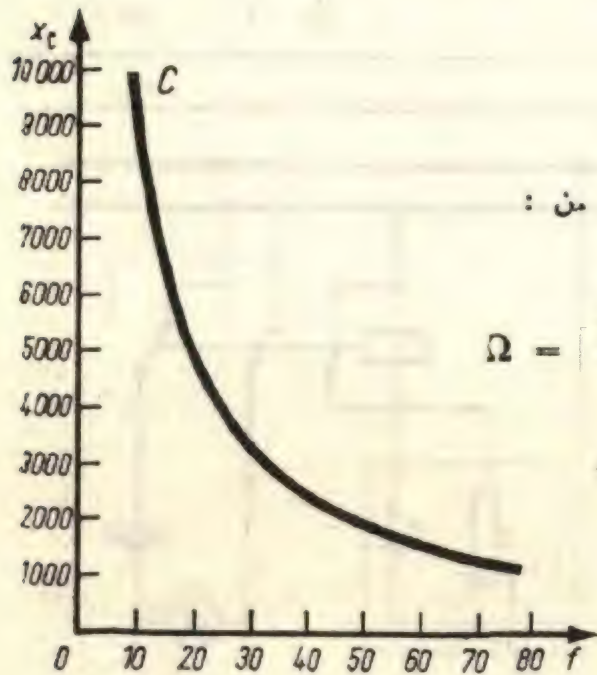
ونحصل على وحدة المفاعلة السعوية مـفـ س من :

$$\Omega = \frac{\text{فل}}{\text{مـب}} = \frac{\text{ت}}{\text{مـب ت}} = \frac{1}{\frac{\text{مـب ت}}{\text{فل}}} \times \frac{1}{\text{ت}}$$

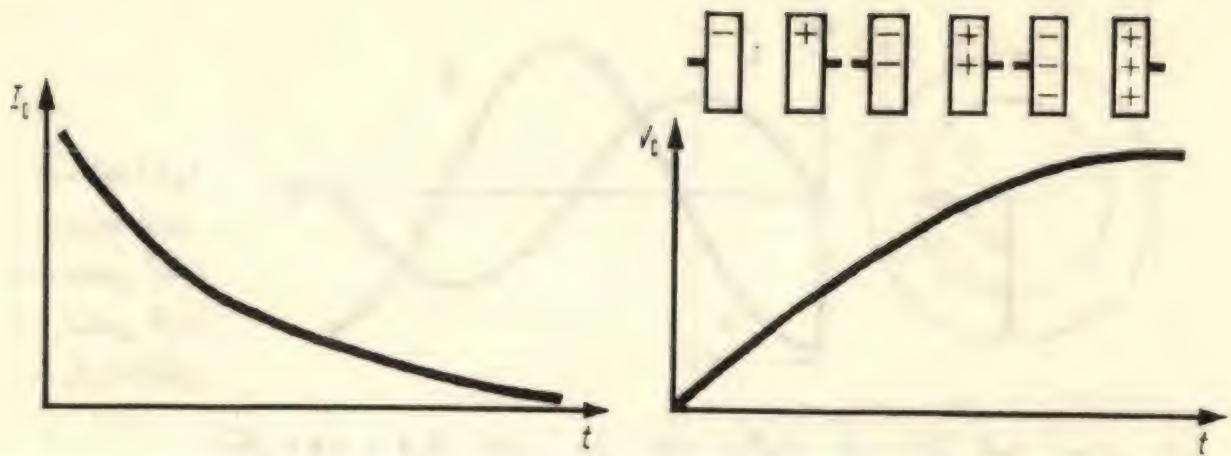
وبين الشكل (١٨٩) الاعتماد التبادلي بين التردد

الزاوي ، والمواسعة ، والمفاعلة السعوية .

شكل ١٨٩ : العلاقة بين س ، مـفـ س







شكل ١٩١ : توليد الجهد خلال شحن مواسع في مرحلة  $\frac{1}{4}$  دورة

شكل ١٩٠ : توليد التيار خلال شحن مواسع في مرحلة  $\frac{1}{4}$  دورة

المواسعة والعلاقة الموقته بين الجهد والتيار :

تسبب المواسعات أيضاً ، كما هي الحال في المحاثات ، فرق طور بين الجهد والتيار ، في دائرة التيار المتردد .

يبين الشكل (١٩٠) منحنى الجهد أثناء شحن مواسع خلال  $\frac{1}{4}$  دورة . وكما نعرف ، يسمح بمرور تيار ، فقط ، حتى يتم شحن المواسع ، وهذا يعني أن التيار ينخفض من قيمة مبدئية إلى قيمة الصفر ( الشكل ١٩١ ) .

وكما هو الحال في المحاثات ، حيث تتكون المجالات المغنطيسية وتخبو ، تتكون المجالات الكهربائية للمواسعات وتخبو ، خلال مرحلة نصف موجة ( الشكل ١٩٢ ) .

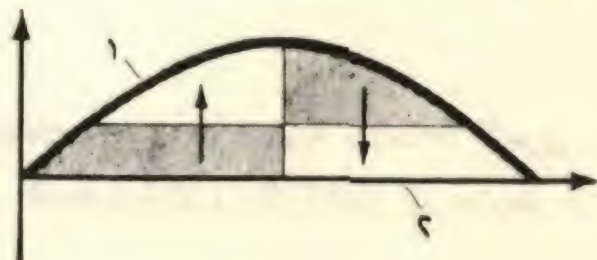
عند إدماج مواسعات خارجية في دائرة كهربائية ( وهذا لا يحدث في الحياة العملية عادة ) يمكن تمثيل حدوث الجهد والتيار بالنسبة للزمن بطريقة بسيطة ( الشكل ١٩٣ ) .

عند إدماج مواسعات في دائرة تيار متردد ، يظهر الجهد والتيار في أوقات مختلفة ، ويكون التيار متقدماً زمنياً .

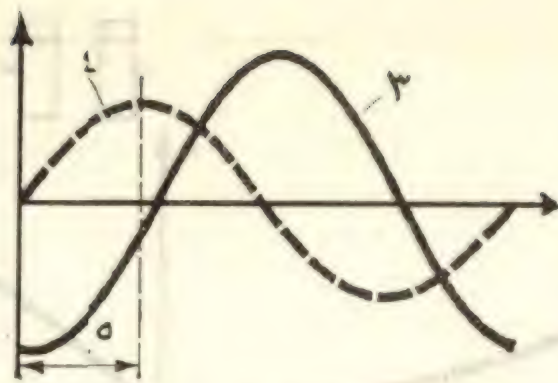
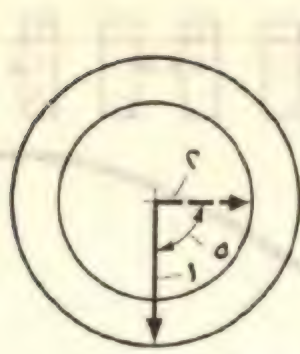
( و ) التطبيق العام لقانون أوم على دائرة تيار متردد :

يبين مما سبق ذكره ، فيما يختص بدائرة التيار المتردد ، أن المقاومات الفعالة ، والمفاعلات الحثية ، والمفاعلات السعوية ، يمكن أن تحدث في هذه الدائرة .

شكل ١٩٢ : تكوين وخبو مجال كهربائي خلال نصف موجة .  
١ - تكوين مجال كهربائي .  
٢ - خبو مجال كهربائي .







- ١ - متجه الجهد .
- ٢ - متجه التيار .
- ٣ - منحنى الجهد .
- ٤ - منحنى التيار .
- ٥ - زاوية الطور .

شكل ١٩٢ : فرق الطور بين الجهد والتيار في حالة حمل سعوى يمت

ولا تحدث المقاومات الفعالة أى تأثير على فرق الطور بين الجهد والتيار .  
والمعاوقة مع ، لدائرة تيار متردد ، تحوى مقاومات فعالة ، ومفاعلات حثية ، والتي  
تنتج من القيم الفعالة للجهد المتردد والتيار المتردد ، والتي تخالف المقاومة م ، تعطى بالعلاقة :

$$\overline{V^2} = \overline{V_m^2} + \overline{V_c^2} = \overline{V^2} + \overline{V_c^2}$$

حيث مع = المعاوقة .

م = المقاومة

مف = المفاعلة الحثية

$\omega$  = التردد الزاوى

ح = الحثية

وإذا أدمجت مقاومات فعالة ومفاعلات سعوية ، في دائرة تيار متردد ، فتعطى المعاوقة  
بالعلاقة :

$$\overline{V^2} = \overline{V_m^2} + \overline{V_s^2} = \overline{V^2} + \overline{V_s^2}$$

حيث : مف س = المفاعلة السعوية .

س = المواسعة .

وتماكس فروق الطور الناتجة ، بواسطة المفاعلات الحثية ، والسعوية ، إحداها الأخرى .  
ولهذا السبب ، يصبح الفرق بين كلا النوعين من المفاعلات فعالا في دائرة التيار المتردد وهو :

$$V = \sqrt{\left( \frac{1}{\omega \times S} - C \times \omega \right)^2 + M^2}$$

$$V = \sqrt{\left( \frac{M}{S} - C \right)^2 + M^2}$$

وإذا عبر عن الفرق ( مـ ح - مـ س ) بالمفاعلة مـ

ينتج أن :

$$V = \sqrt{M^2 + M^2}$$

ومن هذا ينتج أنه يمكن تطبيق قانون أوم على دائرة تيار متردد في الشكل العام .

$$T = \frac{C}{M}$$

$$T = \frac{C}{\sqrt{\left( \frac{1}{\omega \times S} - M \times \omega \right)^2 + M^2}}$$

١٢/٤ - الشغل الكهربائي ، والقدرة الكهربائية للتيار المتردد :

إذا كان هناك تطابق بين طور جهد و طور تيار ، في دائرة تيار متردد ، نحصل على قدرة ظاهرية من حاصل ضرب القيم الفعالة للجهد والتيار :

$$Q = C \times T$$

حيث يرمز الحرف Q للقيمة الظاهرية ، ويرمز الحرف F للقيمة الفعالة .

وبالمثل ، بالنسبة للشغل الظاهري ، نجد أن :

$$Q = Z \times C = Z \times T \times F$$

وعلى كل ، فإن القدرة الحقيقية لدائرة تيار متردد ، تعين بواسطة فرق الطور ، الحادث عن المفاعلات الحثية والسعوية .

وتسمى هذه القدرة « القدرة الحقيقية » أو « القدرة الفعالة » Q للتيار المتردد .

ويفسر ذلك بمساعدة الشكل (١٩٤) . وتكون الزاوية بين طور الجهد و طور التيار في منحني العلاقة بينهما ، مساوية ٤٥° . وبضرب القيم اللحظية للجهد والتيار ، يمكن تكوين مساحات كما هو مبين في الشكل (١٧٩) . ونجد على كل ، أن هذه المساحات موجودة في المدى السالب ، فهي تحدث في هذه المقاطع ، التي لا يظهر فيها الجهد والتيار معاً في المدى السالب ، أو في المدى



الموجب (  $- = + \times -$  ،  $- = - \times +$  ) ويجب طرح هذه المساحات السالبة من المساحات الموجبة . وبتعبير آخر ، يقترب متوسط القدرة الفعالة قرب محور الزمن ، كلما كان فرق الطور كبيراً .

ويمكن تعيين القدرة الفعالة في دائرة تيار متردد بواسطة جيب تمام زاوية الطور ، ويسمى التعبير جتا  $\Phi$  « عامل القدرة » للتيار المتردد . وتعطى القدرة الفعالة بالصيغة التالية :

$$\text{قد} = \text{قد ظ} \times \text{جتا } \Phi$$

$$= \text{ج ف} \times \text{ت ف} \times \text{جتا } \Phi$$

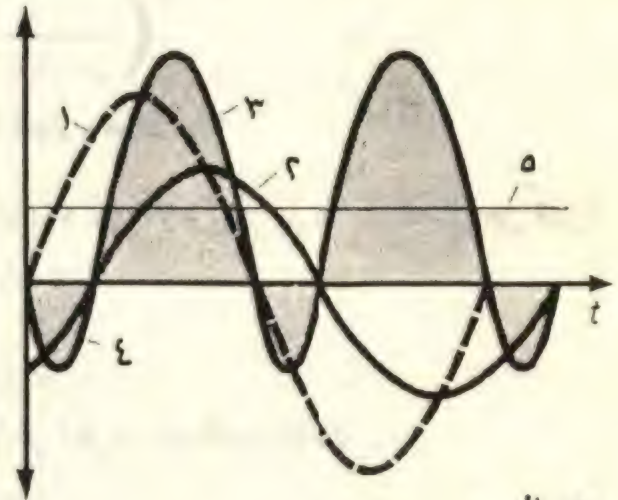
وبالتالى ، يكون الشغل الفعال للتيار المتردد :

$$\text{ش} = \text{قد ظ} \times \text{ز}$$

$$= \text{ج ف} \times \text{ت ف} \times \text{جتا } \Phi \times \text{ز}$$

شكل ١٩٤ : القدرة الفعالة للتيار المتردد عند فرق طور  $45^\circ$

- ١ - منحنى الجهد .
- ٢ - منحنى التيار .
- ٣ - مساحة القدرة في المدى الموجب .
- ٤ - مساحة القدرة في المدى السالب .
- ٥ - القيمة المتوسطة للقدرة عند  $\Phi = 45^\circ$  .



مثال :

سلط جهد متردد قيمته ٣٨٠ فلت ، على محرك كهربائى ، وكان دخل التيار ١٠٥ أمبير ، وعامل القدرة ٠,٨٠ . فما القدرة الظاهرية ، والقدرة الفعالة هذا المحرك الكهربائى ؟

المعطيات : ج = ٣٨٠ فلت .

ت = ١٠٥ أمبير .

جتا  $\Phi = 0,80$

المطلوب : قد ظ ، قد ف

الحل :

$$\text{قد ظ} = \text{ج ف} \times \text{ت ف}$$

$$= 380 \times 1,5 = 570 \text{ واط}$$

لتمييز القدرة الظاهرية عن القدرات الأخرى ، يستعمل التعبير فل . مب ( فلت - أمبير )  
بدلاً من التعبير واط تدف = ج ف × ت ف × جتا  $\Phi$

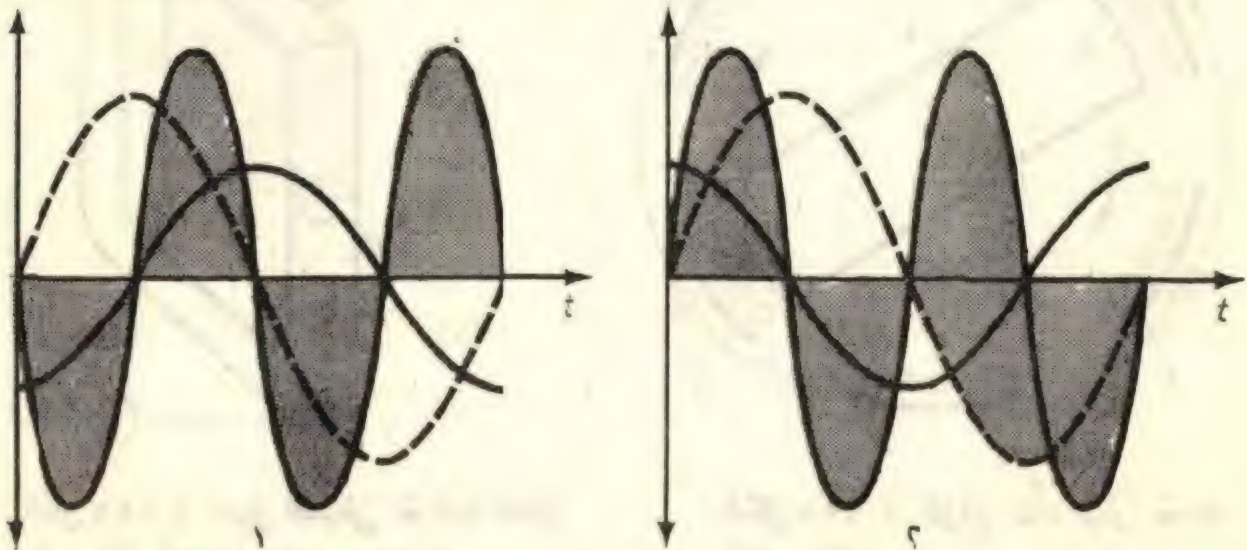
$$= 380 \times 1,5 \times 0,8 = 456 \text{ واط}$$

الأهمية العملية لعامل القدرة :

يمكن التحقق بواسطة الدالات المثلثية من أن زاوية الطور تصبح - ٥٩٠ أو ٥٩٠ في الدائرة الكهربائية ذات الأحمال السعوية البحتة ، والحثية البحتة ( الشكل ١٩٥ ) .

ويبين هذان المنحنيان للقدرة ، أنه ليس هناك قدرة فعالة في هاتين الحالتين . ولقد سبق أن قيل إن هاتين الحالتين لا تحدثان عملياً . ويمكن أن يكون لعامل القدرة أى قيمة بين صفر ، ١ في الحالتين الأخيرتين ، كان عامل القدرة صفرًا ، بينما يكون عامل القدرة ١ في الدائرة ذات الحمل الأوى البحت .

وفي الحياة العملية ، تبذل محطات القوى كل المحاولات الممكنة لضمان عامل قدرة تكون قيمته أقرب إلى الواحد الصحيح ما أمكن ، حيث أن القدرة الظاهرية المولدة تكون أكبر كلما صغر عامل القدرة ، ويمكن تحسين عامل القدرة لتركيبية كهربائية بواسطة تدابير مناسبة .



شكل ١٩٥ : فرق الطور لأحمال سعوية بحتة وحثية بحتة

١ - منحنى القدرة بحمل حثي بحت .

٢ - منحنى القدرة بحمل سعوي بحت .



فثلا ، بإدخال مواسعات إضافية ذات مواسعات عالية ، إذا كان الحمل الحثي عاليا للغاية أو بواسطة الاستخدام الاقتصادي للمحركات الكهربائية والمحولات .

٥/١٢ - التيار المتردد الثلاثي الطور :

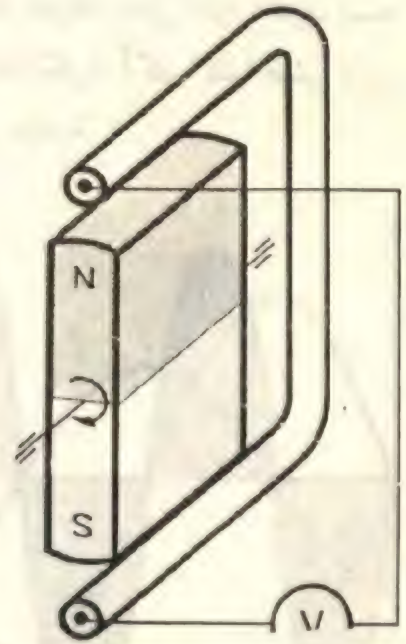
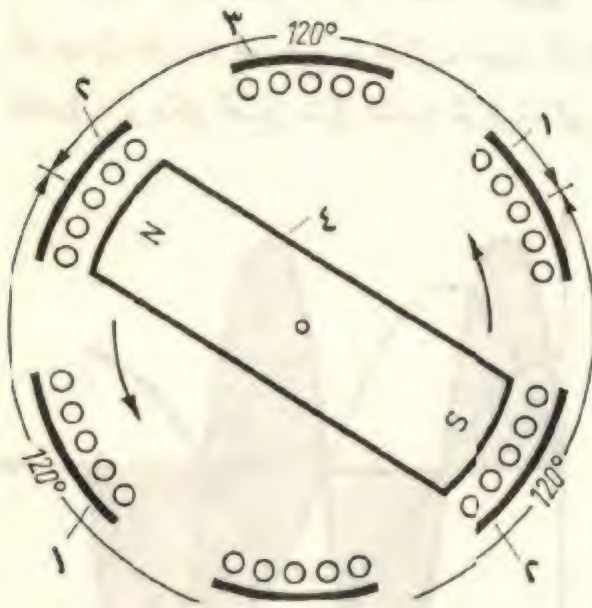
(١) تمثيل التيار المتردد الثلاثي الطور :

بنيت اعتباراتنا عن التيار المتردد على أساس النموذج البسيط لمولد تيار متردد (انظر الشكل ١٦٧) . ولقد بينت تفسيرات الحث المغنطيسي أنه ليس هناك اختلاف بين تحريك الموصل أو تحريك المغنطيس لإحداث الحث . وبين الشكل (١٩٦) التمثيل التخطيطي لترتيبة لتوليد تيار متردد بدوران مغنطيس بينما يكون الموصل ثابتا .

التيار المتردد الأحادي الطور :

تطور التيار المتردد الأحادي الطور الذي تولد في بداية الكهرباء ، والذي كان موضوع مناقشاتنا السابقة إلى التيار المتردد الثلاثي الطور . وبالشكل (١٩٧) نموذج لمولد تيار متردد ثلاثي الطور . ولهذا المولد ملامح مميزة ، حيث أن لفيفاته الثلاثة موضوعة بحيث يكون بينها تباعد قيمته ١٢٠° .

بين الشكل (١٩٨) التمثيل التخطيطي لترتيبة لإحدى هذه اللفيفات .

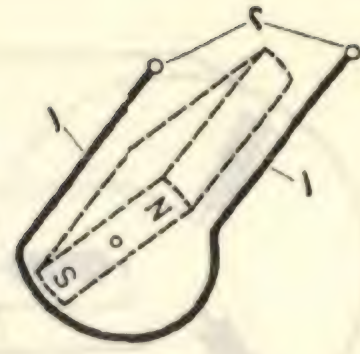
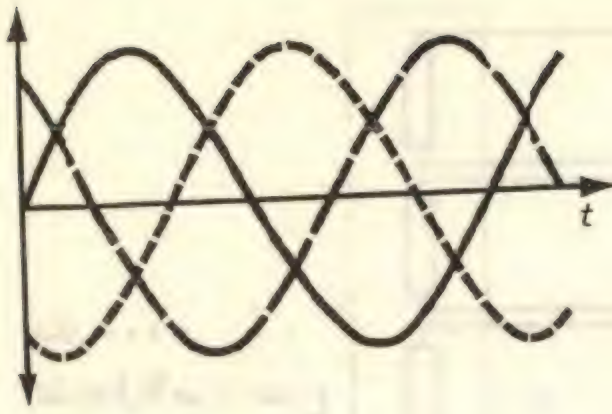


شكل ١٩٧ : نموذج لمولد تيار متردد ثلاثي الطور

- ١ - لفيفة I (نهايات ش ، ص) .
- ٢ - لفيفة II (نهايات ض ، ص) .
- ٣ - لفيفة III (نهايات غ ، ع) .
- ٤ - مغنطيس دوار .

شكل ١٩٦ : تمثيل تخطيطي لترتيبة تشتمل على حلقة ثابتة ومغنطيس متحرك





شكل ١٩٩ : التيار المتردد الثلاثي الأطوار

شكل ١٩٨ : وضع الليفة

١ - أجزاء الموصل انفعالة للحث المغنطيسي الكهربائي .

٢ - التوصيلات ( مثل س ، ش ) .

عندما يدور المغنطيس في مثل هذا المولد ، تنتج جهود مترددة ، تكون بينها زاوية طور  $120^\circ$  ، ويبين الشكل (١٩٩) ثلاث منحنيات لجهد متردد جيبي بينها فرق طور مقداره  $120^\circ$  .

وعند تمثيل لفيفات مولد تيار متردد ثلاثي الأطوار بفاعلات حثية ، وتمثيل الحمل بمقاومات أومية ، نحصل على نظام مفتوح ثلاثي الأطوار ( الشكل ٢٠٠ ) .

ويعتمد التردد الذي يمر به الجهد المتردد والتيار المتردد ، خلال هذا النظام الثلاثي الأطوار ، على عدد أزواج الأقطاب ، أو سرعة الدوران للمغنطيس الدوار . وبالشكل (١٩٧) نموذج لمولد مزود بزوج واحد من الأقطاب ( مغنطيس واحد بقطب جنوبي واحد وبقطب شمالي واحد ) .

وعليه ، يكون عدد أزواج الأقطاب = ١

وإذا كان التردد ٥٠ د/ث ، تكون سرعة الدوران :

$$\text{سرعة الدوران} = \frac{\text{التردد} \times 60}{\text{عدد الأقطاب}}$$

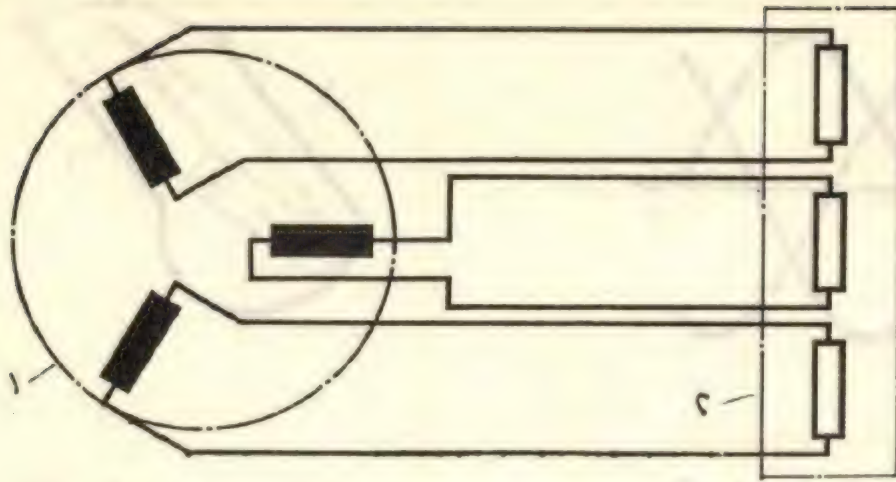
$$= \frac{60 \times 50}{1} \times \frac{1}{3000} = \text{دورة في الدقيقة}$$

يدور العضو الدوار بسرعة ٣٠٠٠ دورة في الدقيقة لتوليد تردد قيمته ٥٠ د/ث .

مثال :

أوجد سرعة الدوران لمولد رباعي الأقطاب ، مصمم لتوليد تيار ثلاثي الأطوار بتردد  $16\frac{2}{3}$  د/ث .





شكل ٢٠٠ :

نظام ثلاثي الأطوار مفتوح

١ - لفيفات المولد .

٢ - حمل على هيئة

مقاومات أومية .

المعطيات : عدد أزواج الأقطاب = ٤

$$\text{التردد} = ١٦ \frac{2}{3} \text{ د/ث}$$

المطلوب : سرعة الدوران

الحل :

$$\text{سرعة الدوران} = \frac{\text{التردد} \times ٦٠}{\text{عدد أزواج الأقطاب}}$$

$$= \frac{١}{\text{دقيقة}} \times \frac{٦٠ \times ١٦ \frac{2}{3}}{٤}$$

$$= \frac{١}{\text{دقيقة}} \times \frac{٦٠ \times \frac{٥٠}{3}}{٤}$$

$$= ٢٥٠ \text{ دورة في الدقيقة}$$

يدور المولد بسرعة ٢٥٠ دورة في الدقيقة .

(ب) الترابط المتبادل بين الأطوار في توصيلات النجمة والدلتا :

الترابط المتبادل بين الأطوار في توصيلة النجمة :

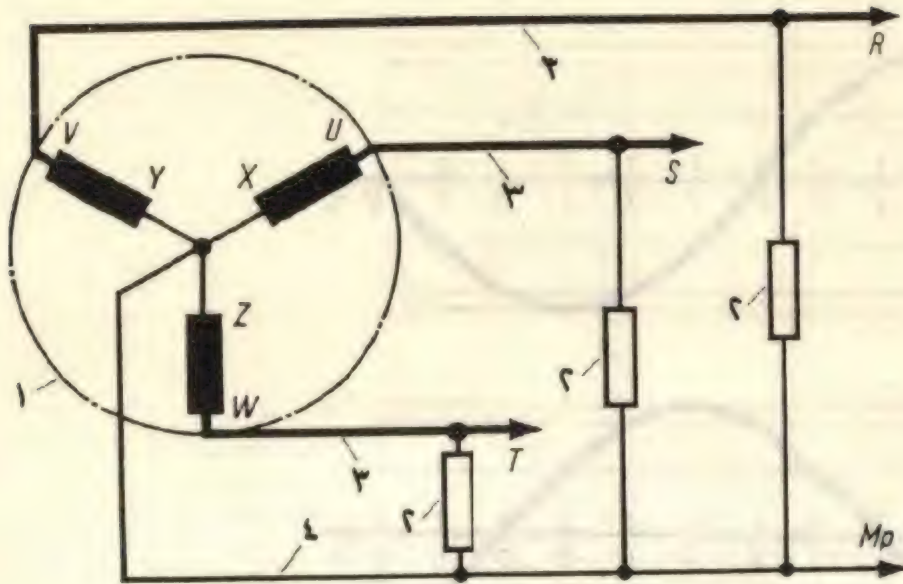
يحتاج النظام المفتوح الثلاثي الأطوار إلى ستة خطوط لنقل القدرة الكهربائية . وعلى كل ، فعند

توصيل لفيفات المولد توصيلاً متداخلاً ، يكتب بأربعة خطوط بجهدين مختلفي القيمة .

وسيؤخذ في الاعتبار هنا بمثل هذا النظام ذي الأربعة أملاك . يبين الشكل (٢٠١) اللفيفات

الثلاثة لمولد ، مرتبة ترتيباً يعرف بتوصيلة النجمة ، أو توصيلة Y . وتوصل الأسلاك المرفقة

للتحيز بينها بالرمز س X ، ص Y ، ع Z ، إلى نقطة توصيل نجمة أو نقطة تعادل .



شكل ٢٠١ : نظام أربعة أسلاك في توصيلة نجمة

- ١ - لفيفات المولد .
- ٢ - حمل على هيئة مقاومات أومية ، نقطة تعادل ن .
- ٣ - موصلات خارجية R ، T ، S ،

نفرض أن هذا النظام ذو الأربعة أسلاك حمل بمقاومات أومية .  
وعادة يمكن إعتبار مساحة المقطع المستعرض لموصل التعادل أصغر من الأسلاك الخارجية .  
والسبب في هذا مبين بالشكل (٢٠٢) الذي يشمل جدولاً به حاصل جمع الجهود الجزئية في نفس الأطوار .

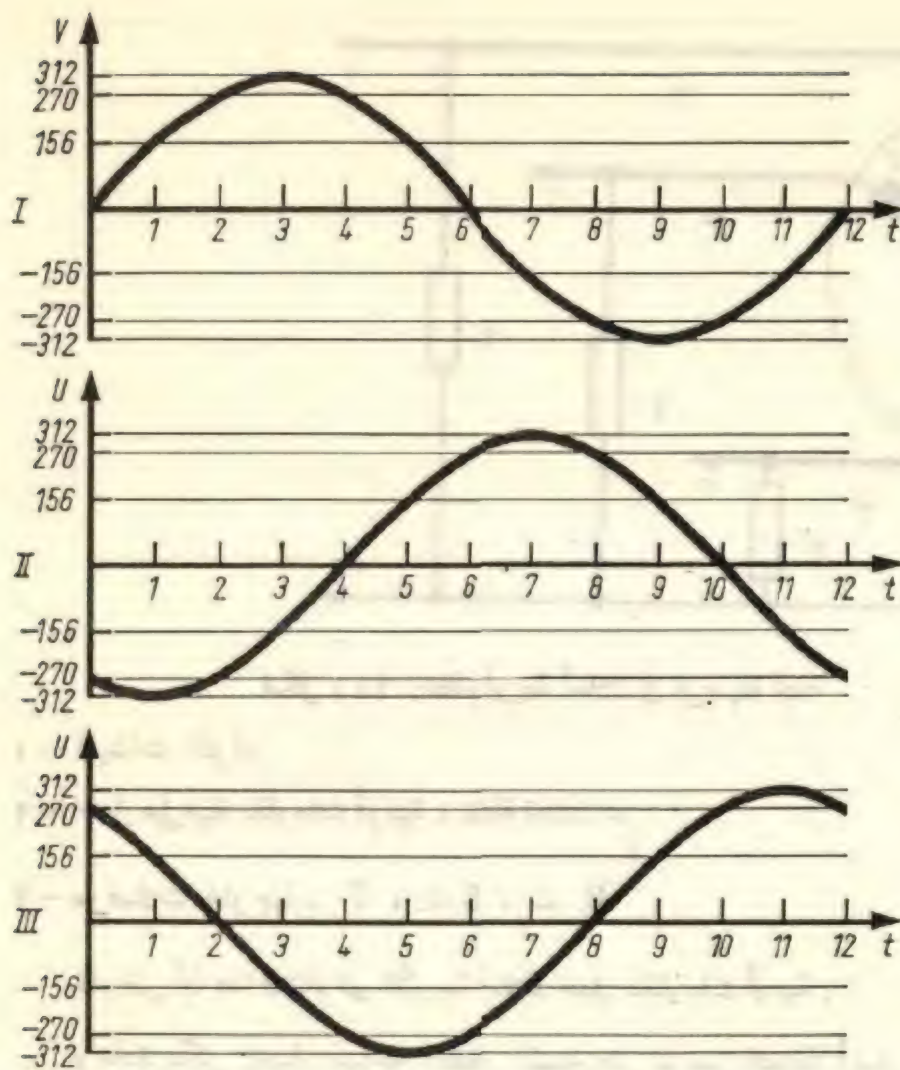
يبين هذا الجدول ، أنه في أي لحظة ، يكون مجموع الثلاثة جهود في توصيلة نجمة مساوياً لصفر .

وإذا كان الحمل على الموصلات الخارجية هو نفسه في جميع الحالات الثلاثة ( وهذا نادراً ما يحدث عملياً ) ، يكون مجموع التيارات الثلاثة مساوياً لصفر أيضاً ، كما لا يحمل موصل التعادل تياراً . وحيث أنه ، على أية حال ، تكون الأحوال دائماً غير متساوية فإنه يمر دائماً تيار رجوع معين خلال موصل التعادل .

ويوصل عادة موصل التعادل بالأرض ، أي أنه يكون هناك توصيل كهربائي بين نقطة التعادل والأرض الرطبة . وهذا التدبير ضروري لتوفير الوقاية ضد اللمس العارض ( التأسيس الواق ) .

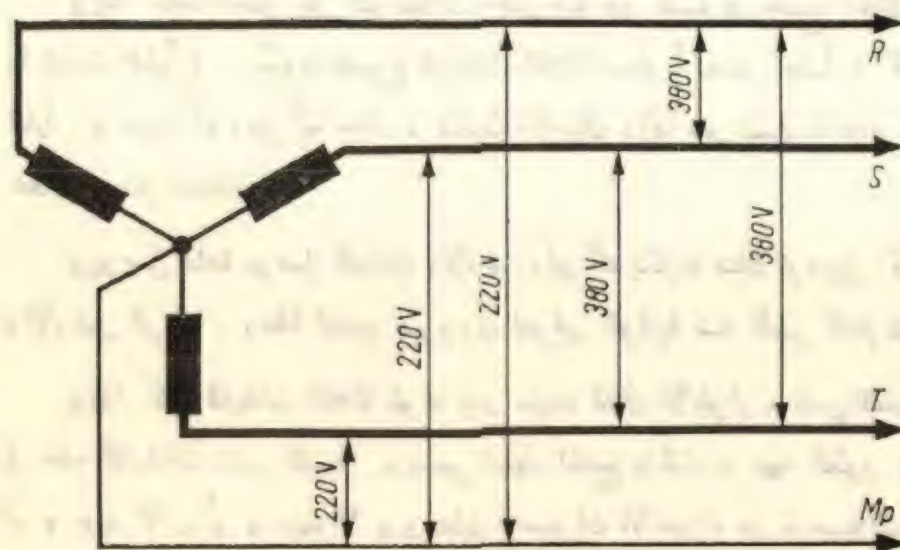
وإذا كان لفيفات الثلاثة لمولد تيار متردد ثلاثي الأطوار ، نفس المقنن ، يكون للجهود المنتجة في هذه لفيفات نفس القيمة . ويسمى الجهد المنتج بالحث « جهد الطور » ، أو جهد « النجمة » أو « جهد V » أو « جهد Y » وينطبق التعبيران الأخيران على توصيلات النجمة فقط . ومن هذا





	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	156	270	312	270	156	0	-156	-270	-312	-270	-156	0
II	-312	-270	-156	0	156	270	312	270	156	0	-156	-270
III	156	0	-156	-270	-312	-270	-156	0	156	270	312	270
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

شكل ٢٠٢ :  
منحنيات الجهد والتيار  
متردد ثلاثي الأطوار  
وحاصل جمعها

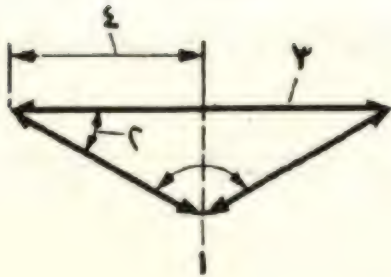


شكل ٢٠٣ :  
شروط الجهد في أنظمة  
الأربعة أسلاك  
ج = ٢٢٠ فلت .  
ج خط = ٣٨٠ فلت .

ينتج أن جهود الأطوار الثلاثة تكون متاحة، وهي  $J_N$  ر (ج  $R - MP$ ) ،  $J_N$  م  
 ت (ج  $T - MP$ ) ،  $J_N$  ث (ج  $S - MP$ ) . (ن  $M P$ ) تعني النقطة  
 الوسطى ، ويقصد بها هنا موصل التعادل). وعلاوة على ذلك ، يعطى نظام الأربعة أسلاك ثلاثة  
 جهود بين الخطوط ج خط أو يعطى جهودا بين طور وطور وهي ج  $RS$  ، ج  $RT$  ، ج  $ST$  .  
 وإذا كانت القيمة الفعالة لجهود الطور هي ٢٢٠ فلت ، على سبيل المثال ، يكون الجهد بين طور  
 وطور ج خط = ٣٨٠ فلت .

يبين الشكل (٢١٣) جهود نظام ذو أربعة أسلاك .

ويمكن إيجاد العلاقة العامة بين ج طور ، ج خط بواسطة مثلث الجهد (الشكل ٢٠٤) .



$$\frac{\text{ج خط}}{3} : \text{ج} = \text{جتا } 30^\circ$$

$$\text{ج خط} = 2 \times \text{ج} \times \text{جتا } 30^\circ$$

$$\text{ج خط} = 2 \times \text{ج} \times \frac{1}{2} \times \sqrt{3}$$

$$\text{ج خط} = \text{ج} \times \sqrt{3}$$

$$\text{ج خط} = 1,73 \times \text{ج}$$

شكل ٢٠٤ : مثلث الجهد لجهود الأطوار ج بينها فرق طور ١٢٠°

١ - جهود الأطوار ج بينها فرق طور ١٢٠°

٢ - زاوية ٣٠°

٣ - جهد الخط ج خط

$$4 - \frac{\text{ج خط}}{2}$$

الجهود بين طور وطور ، في نظام ثلاثي الطور ، في توصيلة نجمة تساوى ١,٧٣ مرة  
 جهد الطور ج .

ولقد أفادنا النظام الثلاثي الأطوار بأربعة أسلاك في تكوين ترتيبات الدائرة الآتية :



توصيلة أحادية الطور : تركيبات الإضاءة ، الأجهزة الكهربائية المنزلية ، المحركات الكهربائية الموصلة بين الموصل الخارجي وموصل التعادل .

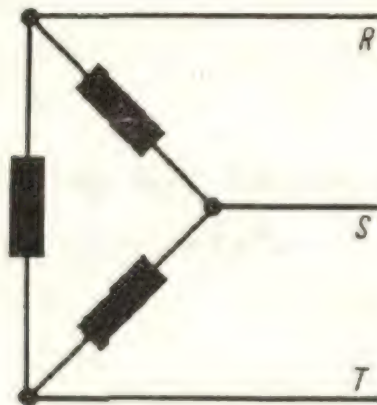
توصيلة ثنائية الأطوار : المحركات الكهربائية للتشغيل الثقيل بالتيار المتردد موصلة بين موصلين خارجيين .

توصيلة ثلاثية الأطوار : المحركات الكهربائية ثلاثية الأطوار ووحدات التسخين الصناعية ذات الحرج العالي ، الموصلة بين الموصلات الخارجية الثلاثة .

الترابط المتبادل بين الأطوار في توصيلة الدلتا :

يبين الشكل (٢٠٥) مثالا لمولد في توصيلة دلتا . ومن الواضح أنه يلزم لذلك ثلاثة موصلات خارجية ( R ، S ، T ) . وتبعاً لذلك يكون لفروق الجهد بين هذه الموصلات الخارجية نفس القيمة . وعلى كل ، لا يطبق ذلك على شدة التيار في دائرة كهربائية مقفلة ( والدائرة المقفلة تعبر آخر لتوصيلة الدلتا ) . ودائماً ، تصبح قيم شدة التيار لتيارات الأطوار فعالة ، كما هي الحال بالنسبة للجهود في توصيلة النجمة ، وعليه فإن :

$$I_{\text{خط}} = \sqrt{3} I_{\text{طور}} ، I_{\text{خط}} = 1.73 \times I_{\text{طور}}$$



شكل ٢٠٥ : توصيلة الدلتا

شدة تيار الموصل T خط في نظام ثلاثي الطور في توصيلة دلتا تساوي ١,٧٣ مرة شدة تيار الطور .

مثال :

قيست شدة تيار T فكانت ١٢٠ أمبير بين الموصلات الخارجية لمولد توصيلة دلتا . أوجد شدة التيار في لفيفة واحدة ؟ .

المعطيات : تيار المرصل ت خط .

المطلوب : تيار الطور ت طور

الحل :

$$I_{\text{خط}} = I_{\text{طور}} \times \sqrt{3}$$

$$I_{\text{طور}} = \frac{I_{\text{خط}}}{\sqrt{3}} , \quad I_{\text{طور}} = \frac{120}{1.73} \text{ أمبير}$$

$$I_{\text{طور}} \approx 70 \text{ أمبير}$$

لصفات المولد محملة بتيار قيمته حوالى 70 أمبير

(ج) القدرة في دائرة تيار متردد ثلاثى الأطوار :

نص في (القسم الأول - الفصل الثانى عشر) ، على أن القدرة الفعالة لتيار متردد أحادى الطور ، تعطى بالعلاقة :

$$P = I \times V \times \cos \phi$$

وبافتراض أن الأحرف المستخدمة كرموز في العلاقات هي للجهود والتيارات أو القدرات الفعالة دون الإشارة إلى ذلك ، تحسب القدرة لكل طور من :

$$P_{\text{طور}} = I \times V \times \cos \phi$$

وللتيار المتردد الثلاثى الأطوار :

$$P = 3 \times I \times V \times \cos \phi$$

ولنبحث الآن عن التأثير الذى تبذله ترتيبية الدائرة الكهربائية المعطاة على تعيين القدرة في نظام تيار متردد ثلاثى الأطوار :

توصيلة دلتا

توصيلة نجمة

$$I_{\text{طور}} = I_{\text{خط}}$$

$$I_{\text{طور}} = \frac{I_{\text{خط}}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{\text{طور}} = \frac{I_{\text{خط}}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{\text{طور}} = I_{\text{خط}}$$



ومن هذا ينتج :

$$\text{قد} = 3 \times \frac{\text{ج خط}}{\sqrt{3}} \times \text{ت خط} \times \text{جتا } \Phi$$

$$\text{قد} = 3 \times \text{ج خط} \times \frac{\text{ت خط}}{\sqrt{3}} \times \text{جتا } \Phi$$

وباختصار كلتا المعادلتين نحصل على التعبير العام للقدرة للتيار المتردد ثلاثى الطور :

$$\text{قد} = \sqrt{3} \times \text{ج خط} \times \text{ت خط} \times \text{جتا } \Phi$$

$$\text{قد} = 1,73 \times \text{ج خط} \times \text{ت خط} \times \text{جتا } \Phi$$

مثال :

ما القدرة المحولة في نظام تيار متردد ثلاثى الطور ، إذ كانت شدة التيار المقاسة ١٣٠ أمبير ، عند جهد بين طور و طور قيمته ٣٨٠ فلت ؟ وكانت قراءة جهاز قياس عامل القدرة هي ٠,٧٨

$$\text{المعطيات : ج خط} = 380 \text{ فلت}$$

$$\text{ت خط} = 130 \text{ أمبير}$$

$$\text{جتا } \Phi = 0,78$$

المطلوب : القدرة قد

الحل :

$$\text{قد} = 1,73 \times \text{ج خط} \times \text{ت خط} \times \text{جتا } \Phi$$

$$\text{قد} = 1,73 \times 380 \times 130 \times 0,78$$

$$\text{قد} = 63,466 \text{ واط ، قد} = 63,466 \text{ كيلو واط}$$

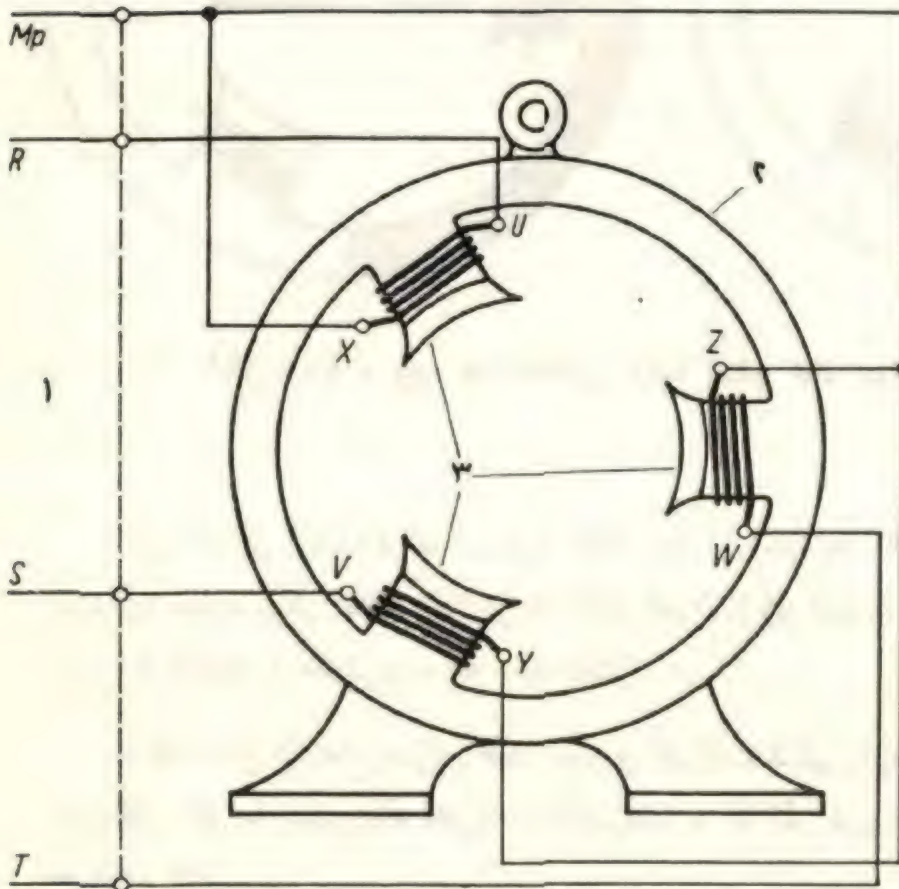
القدرة في هذه الدائرة الكهربائية للتيار المتردد ثلاثى الأطوار ٦٣,٥ كيلو واط تقريبا .

(د) المجال الدوار :

يُصاحب التيار المتردد ثلاثى الأطوار ظاهرة تؤخذ في الاعتبار : حيث أنها ذات فوائد خاصة للاستخدام التجارى لهذا النوع من التيار . ويفسر هذا فيما يلى :

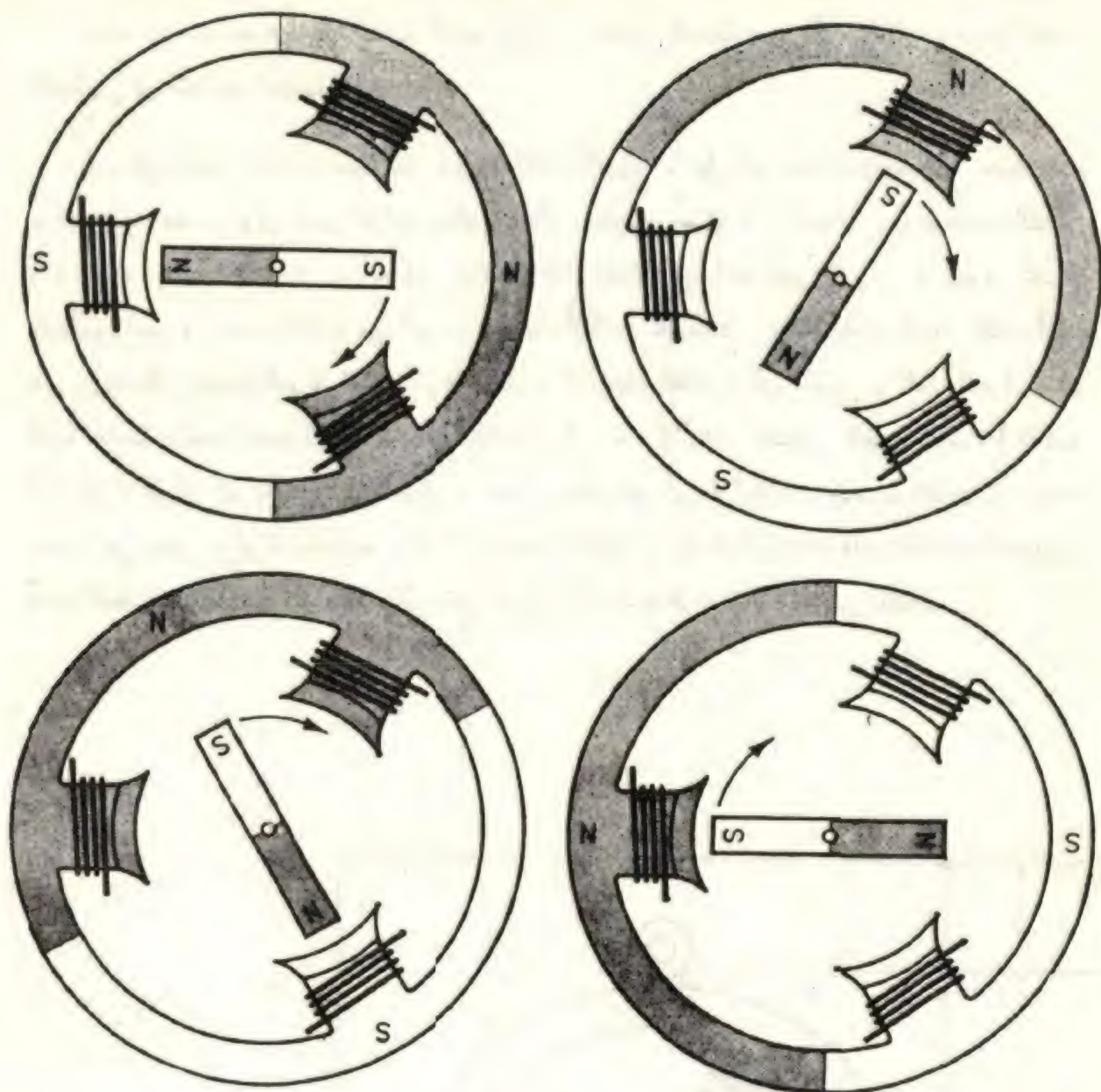
عند دراسة جوهر المغنطيسية الكهربائية ، ناقشنا العلاقة بين اتجاه التيار ونوع القطب المغنطيسي في الملفات الحاملة للتيار .

ويمكن إعتبار لفيفات مولد تيار متردد ثلاثي الأطوار ، على أنها ملفات ذات قلب حديد ينتج بالحث فيها جهد ، وفي نفس الوقت يتكون مجال مغنطيسي حول هذه الملفات . وبمساعدة الشكل ( ١٩٧ ) نتفهم بسهولة ، أنه إلى جانب المجال المغنطيسي للمغنطيس الدوار ، يدور مجال مغنطيسي آخر في الجزء الثابت من المولد ، أي عند أقطاب الفيفات . ولهذا المجال الدوار الثاني أهمية غير ذات بال بالنسبة للمولد نفسه . وعلى كل ، فإن لهذه لظاهرة التي تسمى « المجال الدوار » ، أهمية خاصة بالنسبة للمحرك الكهربائي . بالشكل ( ٢٠٦ ) تمثيل تخطيطي للجزء الثابت ( العضو الساكن ) لمحرك كهربائي ثلاثي الأطوار ، موصل بنظام ذي أربعة أسلاك . وتكون اللفيفات متباعدة بعضها عن بعض بزاوية مقدارها ١٢٠° . وعندما تشغل ترتيبة الدائرة هذه فإن المجالات المغنطيسية ذات القطبية المغنطيسية المترددة والتي تتبع دورية التردد تكون عند رؤوس الملفات .



شكل ٢٠٦ : عضو ساكن  
ذو ثلاثة ملفات موصل  
بنظام ذي أربعة أسلاك  
١ - نظام ذو أربعة أسلاك.  
٢ - جسم من حديد مغنطيسي.  
٣ - ملفات .





شكل ٢٠٧ : يبين هذا الشكل كيفية إنتاج مجال دوار بالحث

يبين الشكل (٢٠٧) نصف دورة لمجال دوار في مثل هذه الترتيبة ، وتتبع إبرة مغناطيسية مرتكزة عند مركز العضو الساكن هذا المجال الدوار ( التي تساوى سرعة دورانه حوالى ٣٠٠٠ دورة في الدقيقة ، عند تردد  $50 \text{ د/ث}$  ) .

ولقد أمكن الانفعال بفوائد المجال الدوار في المحركات الكهربائية الثلاثية الأطوار اللامتزامنة . وسيناقش كل ما يتعلق بهذه المحركات الكهربائية ، الأكثر شيوعا في الاستخدام في الصناعة ، في الجزء الثاني .

## القسم الثاني

### تمهيد لقياسات الكميات الكهربائية



## الفصل الاول

### الاختبار والقياس

يُميز بين الاختبار والقياس في الهندسة الكهربائية ، كما هي الحال في مجالات الهندسة الأخرى .

يعرف الاختبار بأنه طريقة لتعيين حالة أو ظرف . ومثال لذلك ، هل هناك جهد أم لا ؟ ( نعم أم لا ) هل هناك قطع في الخط ( نعم أم لا ) ؟

وبالقياس نتأكد من قيمة كمية كهربائية . ويعبر عن كمية كهربائية بقيمة عددية مضروبة في الوحدة .

أمثلة :

الكمية	القيمة العددية	الوحدة
الجهد	٥	فلط ( ٥ فلط )
شدة التيار	١٢٥	أمبير ( ١٢٥ أمبير )
المقاومة	٢٥٠٠٠	أوم ( ٢٥ كيلو أوم )

عند اختبار تركيبات أو معدات كهربائية ، تعين الشروط الكهربائية أو التشغيلية . وبالقياس تعين الكميات الكهربائية ، أو يتم التأكد من قيمها .

## الفصل الثانى

### معدات الاختبار البسيطة وتطبيقاتها

عند القياس يميز بين :

اختبار الجهد ،

و اختبار الإستمرارية .

وعند اختبار نظام لجهد ، يفترض أنه يتعدى ٢٠ فلط ، يجب استخدام معدات اختبار صممت لهذا الغرض . وتكون معدات الاختبار التى يصنعها الفرد ، والتى تكون على هيئة دواة بها مصباح ، وأسلاك توصيل ، مصدراً للخطر .

١/٢ - اختبار الجهد بواسطة معين القطب ومبين الجهد :

( ١ ) الاختبار بواسطة معين القطب :

يبين الشكل ( ٢٠٨ ) التمثيل التخطيطى لمبين القطب ، والذي يعرف أيضاً بمبين القطبية ، ويصلح للجهود بين ١٠٠ فلط ، ٢٥٠ فلط . وعادة يكون طرف اختباره على شكل سن مفك لى يمكن إستخدامه كأداة .

يومض المصباح المتوهج فى نطاق الجهد المعين ، إذا لمس طرف الاختبار جزء مكهرب ( على سبيل المثال ، إذا لمس طرف الاختبار طرف أو ملامس مفتاح كهربائى ) . بينما يلمس الشخص المختبر ملامس الإصبع . وعند جهد حوالى ١٠٠ فلط يشع المصباح المتوهج ضوءاً خافتاً نسبياً عنه عند جهد ٢٢٠ فلط .

وبجانب اختبار وجود ، أو عدم وجود جهد ، يمكن إستخدام معين القطب للتأكد من نوع الجهد إذا كان مستمراً أو متقطعاً ، على حسب الحالة . ويبين الشكل ( ٢٠٩ ) المصباح المتوهج عند الجهد المستمر ( ١ ) ، وعند الجهد المتقطع ( ٢ ) .



شكل ٢٠٨ :  
معين القطب

١ - طرف الاختبار .

٢ - مقاومة ( حوالى من ٢ إلى ٣ ميجا أوم ) .

٣ - مصباح متوهج .

٤ - ملامس إصبع .





شكل ٢٠٩ : إشارة من المصباح المتوهج عند أنواع مختلفة من الجهد  
 ١ - إشارة في حالة التيار المستمر .  
 ٢ - إشارة في حالة التيار المتردد .

فعند الجهد المستمر يشع الضوء إلكتروود واحد من المصباح المتوهج ، وفي حالة الجهد المتردد يشع الضوء الإلكتروودان بالتناوب .  
 وحيث أنه لا يمكن لأعيننا تتبع الضوء أثناء تناوبه دورياً ، عند التردد المعطى ، لذا ، يظهر هذا الضوء لأعيننا منتظماً بين الإلكتروودات .

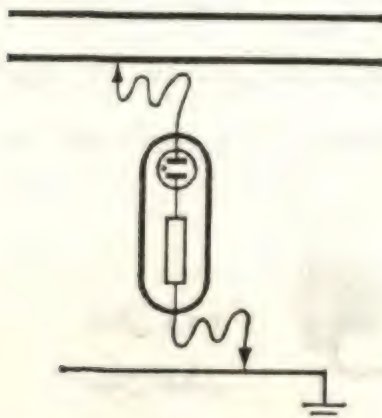
(ب) الاختبار بواسطة مبدن الجهد :

يطبق أساس تشغيل معين القطب أيضاً بالنسبة لمبدن الجهد ، مع عدم وجود ملاس إصبع ، ولكن يستخدم بدلا منه ، طرفا اختبار معزولين ، لإختبار الشيء المراد اختباره . ويبين الشكل ( ٢١٠ ) استخدام مبدن الجهد ، في اختبار جهد بين الخطوط لمخرج مقبس . ويمكن استخدام نفس طريقة الاختبار ، للتأكد من سلامة صندوق التوصيل ، أو مفتاح كهربائي ، أو شريحة طرفية في محرك كهربائي أو لوحة مفاتيح كهربائية .

وهناك طريقة أخرى للاختبار ، وهي الاختبار بالنسبة للأرض ( الشكل ٢١١ ) . ويصبح مثل هذا الاختبار ضرورياً لمعرفة أى خط ( من عدة خطوط ) يوصل الكهرباء للأرض . ومثال لذلك ، فإنه من الضروري إجراء مثل هذا الاختبار ، لمعرفة أى خط يكون موصل التعادل لتوصيلة بجهد ٢٢٠ فلت في نظام بأربعة أسلاك ( لا يحدث هذا الخط عند اختبار تشغيل لمبدن الجهد ) .

٢/٢ - اختبار الإستمرارية بواسطة معدات اختبار بسيطة :

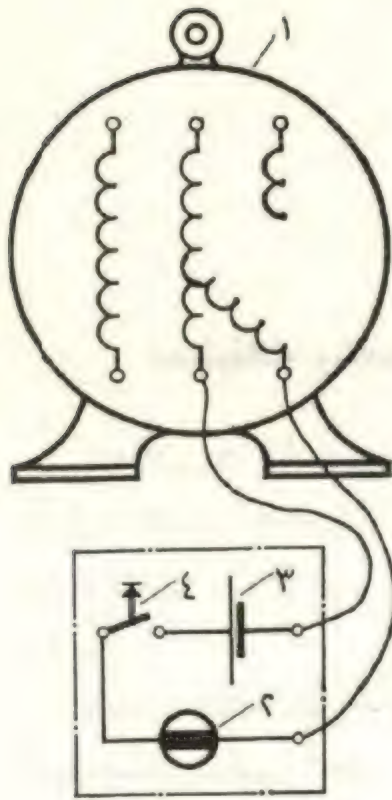
تكون أى تركيبات كهربائية أثناء تشغيلها دائرة كهربائية مغلقة . وتفشل دائرة كهربائية أو أى معدات كهربائية في التشغيل الصحيح ، إذا كانت هناك على سبيل المثال دائرة قصر ، أو تسرب للأرض ، أو سلك مقطوع ، أو توصيلة خاطئة : أو تلامس خاطئ .



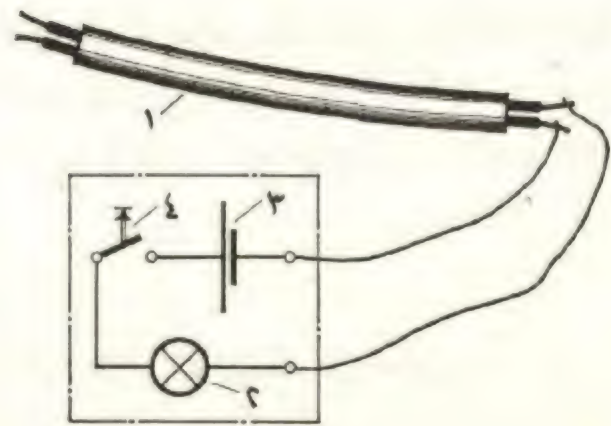
شكل ٢١١ : اختبار الخط للأرض بواسطة مبدن الجهد

شكل ٢١٠ : اختبار الخط للخط بواسطة مبدن الجهد





شكل ٢١٢ : اختبار استمرارية خط بواسطة زنان  
١ - عينة اختبار . ٣ - مصدر للجهد .  
٢ - زنان . ٤ - مفتاح كهربائي بذراع .



شكل ٢١٤ : اختبار قصر  
اللفات لمحرك كهربائي  
١ - عينة اختبار .  
٢ - إشارة مرئية .  
٣ - مصدر للجهد .  
٤ - مفتاح كهربائي بذراع .

شكل ٢١٣ : اختبار دائرة قصر في كبل  
١ - عينة اختبار . ٣ - مصدر للجهد .  
٢ - مصباح متوهج . ٤ - مفتاح كهربائي بذراع .

ويمكن عادة تعقب مصاعب من هذا النوع بواسطة إختبارات الإستمرارية ، وتجري عندما تكون التركيبات أو المعدات غير مكهربة . وتتكون معدات الإختبار البسيطة من مصدر للجهد ( عادة عمود جلفاني ) ومبين كصباح متوهج أو إشارة مرئية أو زنان .

ويمكن اختبار أجزاء التركيبات أو المعدات التي بها مقاومات كهربائية منخفضة بواسطة مصابيح متوهجة وزنان . ويجب إختبار المعدات التي يتوقع إحتوائها على مقاومات أعلى ، بواسطة إشارات مرئية ، نظراً لأن لها دخل قدرة منخفض ، وتعمل على شدة تيار صغيرة جداً .

وتبين الأشكال من (٢١٢) إلى (٢١٤) بضع أمثلة لاختبارات الإستمرارية .



## الفصل الثالث

### تصنيفات وتصميمات وتطبيقات أجهزة القياس الكهربائية

لقد أشير في مجال شرح العلاقات المتبادلة بين شدة التيار ، والجهد ، والمقاومة ( القسم الأول - الفصل الخامس ) ، إلى الأميترات والفولطمترات ، دون التعرض لتفاصيل تصميماتها ، وطرق تشغيلها . وفيما يلي وصف لأهم أجهزة القياس المستخدمة في الهندسة الكهربائية وأدائها .

ويلعب قياس الكمية الكهربائية دوراً هاماً في الهندسة الكهربائية بالرغم من تشابه غالبية أجهزة القياس ببعضها البعض ، ومع الأخذ في الاعتبار لأساس تشغيلها ، إلا أنها تختلف في بعض الأحيان ، اختلافاً كبيراً بالنسبة لمدى القيم العددية للكميات المراد قياسها ، وبالنسبة لدقة القياسات ، ولطرق القياس .

١/٣ - الكميات المراد قياسها - أجهزة القياس :

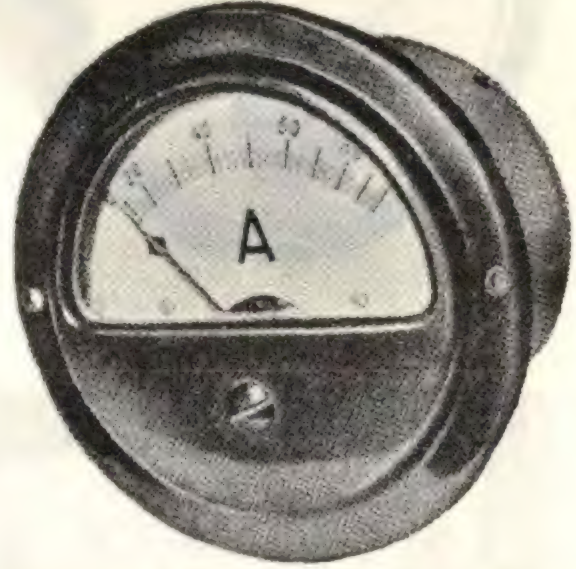
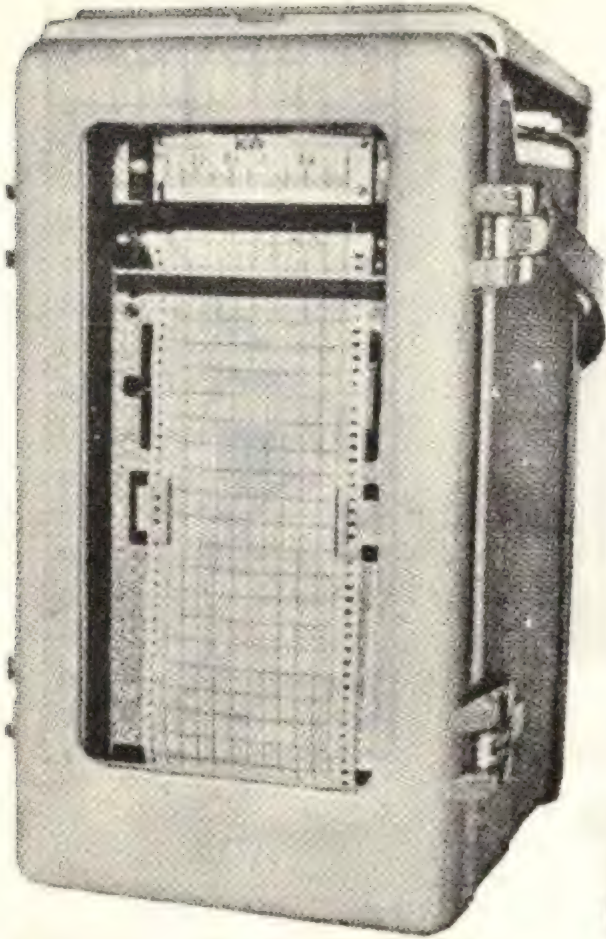
فيما يلي حصر لبضع كميات يراد قياسها ، وأجهزة القياس المناسبة للغرض المطلوب :

جهاز القياس	الكمية المراد قياسها
لميتر ميزان أمبير	شدة التيار
فلطمتر جهاز قياس فرق الجهد المطلق	الجهد
أومتر بملف متقاطع ، قنطرة قياس مقاومة .	المقاومة
جهاز قياس التردد بريشة	التردد
واطمتر	القدرة



### ٢/٣ - تصميم ودقة قياسات أجهزة القياس :

يراعى عند طلب أجهزة القياس ، أن يكون هذا الطلب محدداً بدقة بقدر الإمكان ( وبغض النظر عن الكميات المراد قياسها ) . كما تطلب أجهزة القياس ذات التطبيق الواسع المدى . وقد وضعت تصميمات متعددة لأجهزة القياس ، فى مراحل تطویرها .



شكل ٢١٥ : جهاز بيان كهربائى  
(VEB Elektro Apparate- Werk  
Berlin-Treptow G D R)

شكل ٢١٦ : جهاز مسجل

وفى ما يلى وصف لأكثر هذه الأجهزة شيوعاً  
فى الإستخدام :

أجهزة بيان كهربائية :

وتبين القيمة للكمية المراد قياسها بواسطة مؤشر ينحرف على تدريج ( الشكل ٢١٥ ) .

أجهزة مسجلة كهربائية :

وتسجل نبیطة تسجيل ، تناظر حركتها إنحراف مؤشر ، القيمة المقاسة للكمية المراد قياسها ،

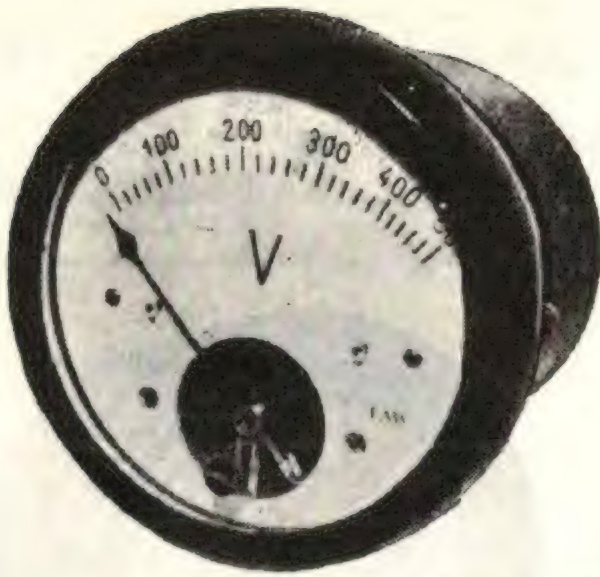
على شريط من الورق ، يتحرك بسرعة ثابتة ( الشكل ٢١٦ و الشكل ٢١٧ ) .

أجهزة لوحات التشغيل الكهربائية :

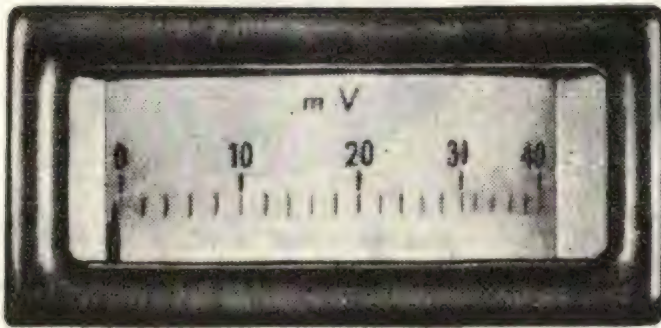
تصمم هذه الأجهزة للتركيب فى خلايا لوحات التشغيل الكهربائية وللاستخدام الثابت .

ولأجهزة القياس ذات التصميم القديم منها شكل مستدير عادة ، بينما يكون للأجهزة الحديثة منها شكل مستطيل أو مربع ( الشكل ٢١٨ ) .





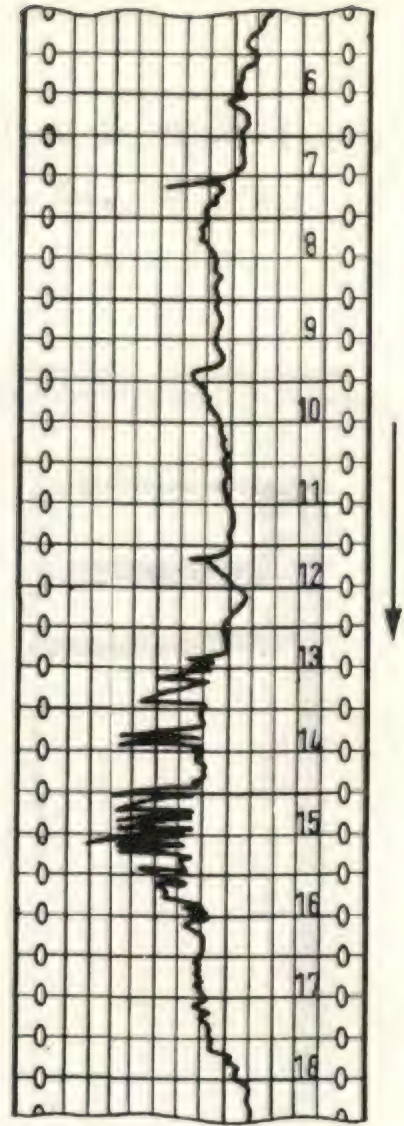
الشكل : ١/٢١٨



الشكل : ٢/٢١٨



الشكل : ٣/٢١٨



شكل ٢١٧ : رسم بياني لسجل قدرة  
( الأرقام تبين الزمن )

شكل ٢١٨ :

أجهزة لوحات التشغيل الكهربائية

١ - شكل مستدير .

٢ - شكل مستطيل .

٣ - شكل مربع .

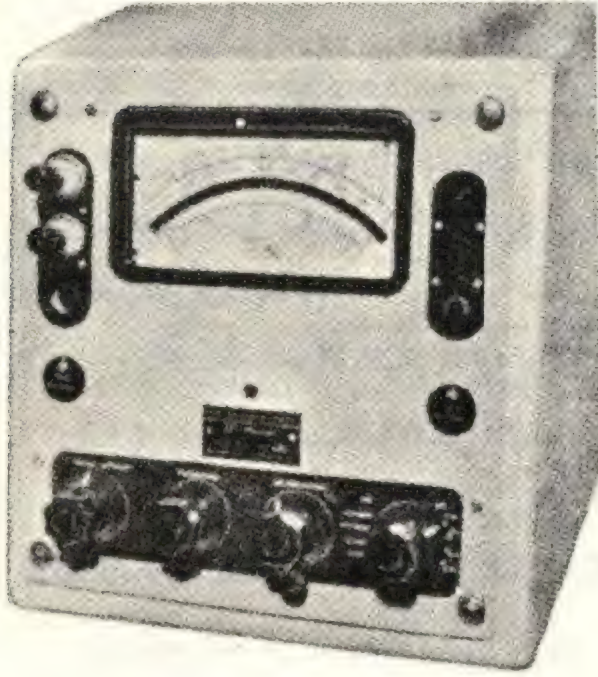


## أجهزة نقل كهر بائية :

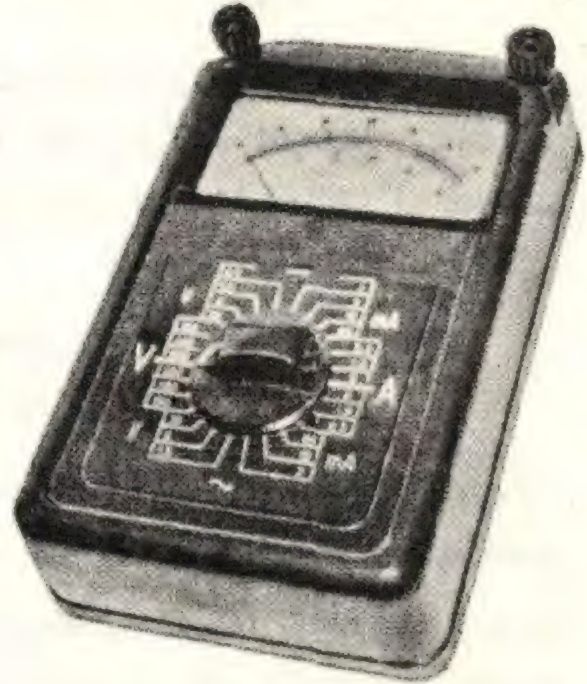
وتستخدم في التركيبات الكهر بائية وأغراض الإصلاح . وهناك عدة تصميمات لأجهزة القياس النقلى ، مناسبة لقياس عدة كميات ( أجهزة قياس متعددة الغرض ) ( الشكل ٢١٩ ) .

## أجهزة قياس كهر بائية معملية :

ويجب أن تفى باحتياجات الطلبات الدقيقة ، من حيث دقة القياس ، ودقة القراءة . وعادة ، تكون تداريج مثل هذه الأجهزة مركبة على مرايا . وتكون أجهزة القياس المعملية من النوع النقلى . ( الشكل ٢٢٠ ) .



شكل ٢٢٠ : أجهزة قياس معملية



شكل ٢١٩ : جهاز نقل

## (١) دقة القياس :

يتميز بين الأجهزة الدقيقة والأجهزة الصناعية (التجارية) ، كما تصنف هذه الأجهزة طبقاً لحدود الخطأ . ويعبر عن حدود الخطأ على المدى الفعال بنسبة مئوية من مدى التدرج . وقد قسمت الأجهزة إلى مجموعات تبعاً لهذه القيم المسموح بها .

درجة الدقة ٠,٥ ٠,٢ ٠,١ ١ ١,٥ ٢,٥ ٥

التأثير على النتيجة (فى المائة) ٠,٥ ٠,٢ ٠,١ ١ ١,٥ ٢,٥ ٥  
أجهزة دقيقة أجهزة صناعية (تجارية)

ويبين تأثير درجة دقة جهاز القياس على النتائج بالمثل التالى :



مثال :

ما حد الخطأ معبراً عنه في المائة لفلطمتر ، درجة دقته ٢,٥ ، وله مدى تدريج ١٠٠ فلط ؟

الجهد ( بالفلط )	الإنحراف ( بالفلط )	حدود الخطأ ( نسبة مئوية )
١٠٠	$\pm 2,5$	٢,٥٠
٨٠	$\pm 2,5$	٣,١٢
٦٠	$\pm 2,5$	٤,١٦
٤٠	$\pm 2,5$	٦,٢٥
٢٠	$\pm 2,5$	١٢,٥٠
١٠	$\pm 2,5$	٢٥,٠٠

وتؤدي هذه الأجهزة إلى إنحرافات تؤخذ في الاعتبار في المدى المنخفض ، ولهذا السبب يجب استخدام المدى العلوى فقط للجهاز في القياس . ويجب تجنب قياسات الجهد في المثال المعطى عاليه للقيم أقل من ٨٠ فلط .

٣/٣ - آليات الحركة لقياس الجهد وشدة التيار :

( ١ ) ملاحظات عامة على شكل آلية الحركة لأجهزة القياس :

تبنى آليات الحركة ، الأكثر شيوعاً في الإستخدام ، على أساس المغنطيسية الكهربائية . وتبذل المجالات المغنطيسية قوة على جسم متحرك، يكون تحركه (إنحرافه) هو قياس للكمية المراد قياسها . وتستخدم قلة من أجهزة القياس القوى الموجودة بين الشحنات الكهربائية الإستاتيكية ( مثال لذلك جهاز قياس فرق الجهد الكهربائي المطلق، المبين وصفه بالقسم الأول - الفصل الثالث ) . ونادراً ما يستخدم التأثير الحرارى للتيار الكهربائي في أغراض القياس . وفي هذه الأجهزة تكون إستطالة معدن معرض للحرارة هي القياس للكمية المراد قياسها .

( ب ) أجهزة القياس بحديدة متحركة :

تبنى آليات حركة أجهزة القياس هذه على حركة ملفات مفلطحة ، أو ملفات مستديرة .

آليات حركة الملفات المفلطحة :

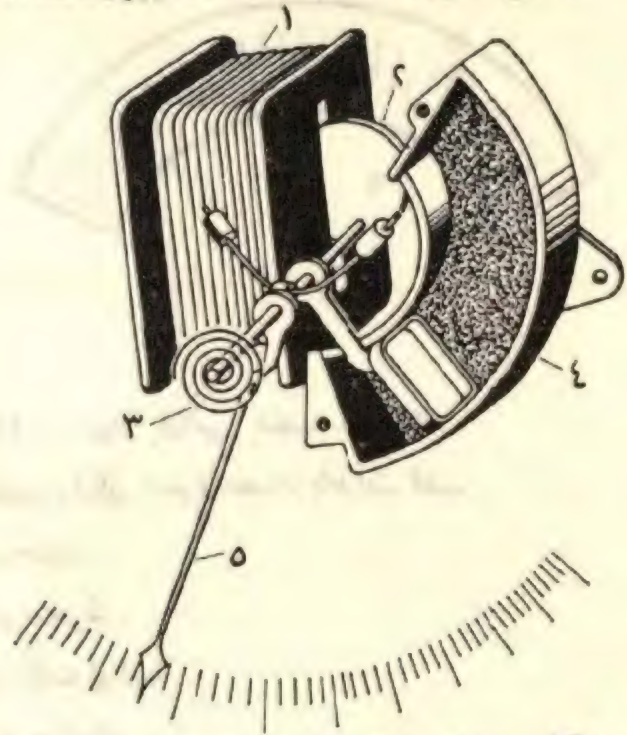
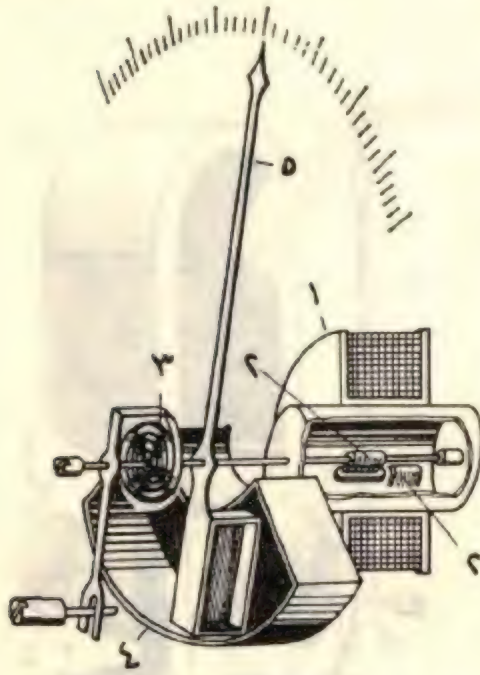
بالشكل (٢٢١) تصميم لآلية حركة ملفات مفلطحة . يلف ملف بطريقة ما، بحيث تكون لفتحته شكل الشق . يوضع لوح صغير من الحديد أمام هذا الشق بحيث يكون حر الدوران ، وبحيث يكون مزوداً بمؤشر ، وبزنبرك لوابي للحركة المرتجعة . توصل نبيطة مضادة مع لوح الحديد الصغير ، لضمان تحريك المؤشر بنعومة . ويستخدم في هذه الحالة نظام مضادة هوائى . وعندما يمر تيار عبر الملف المفلطح ، يسحب اللوح الحديد داخل شق الملف إلى مدى معين .



ويأجروا قياسات مقارنة ، يقسم التدريج بحيث تكون المسافة التي يقطعها لوح الحديد متناسبة مع شدة التيار أو الجهد .

آليات حركة الملفات المستديرة :

بالشكل ٢٢٢ تصميم آلية حركة ملف مستدير . وتميز عن آلية حركة الملف المفلطح في شكلها وباستخدامها للتنافر المغنطيسي . فيوجد لوح حديدى صغير ثابت وآخر متحرك في الحيز الداخلى الكروى لصندوق الملف ، ويزود هذا الأخير بمؤشر وزنبرك لولابى وبنظام مضاءة هوائى .



شكل ٢٢٢ : جهاز قياس بحديدية متحركة

بملف مستدير

- ١ - ملف مستدير .
- ٢ - لوح حديد صغير .
- ٣ - زنبرك لولابى .
- ٤ - نظام مضاءة هوائى .
- ٥ - مؤشر يتحرك على تدريج .

شكل ٢٢١ : جهاز قياس بحديدية

متحركة بملف مفلطح

- ١ - ملف مفلطح .
- ٢ - لوح حديد صغير .
- ٣ - زنبرك لولابى .
- ٤ - نظام مضاءة هوائى .
- ٥ - مؤشر يتحرك على تدريج .

عندما يمر تيار خلف الملف يتمغنط اللوحان الصغيران بفيض من نفس الاتجاه بحيث يتنافران مع بعضهما البعض ، وهذا بسبب إنحراف المؤشر .

تطبيقات أجهزة القياس بحديدية متحركة :

تكون آليات الحركة هذه مناسبة للتيار والجهد المستمر ، والتيار والجهد المتردد . ويكون لأجهزة القياس بحديدية متحركة ذات التصميمات القديمة أقسام تدريج لوغاريتمية ( الشكل ٢٢٣ - ١ ) ، بينما تكون أجهزة القياس الحديثة منها مزودة بأقسام تدريج خطية ( الشكل ٢٢٣ - ٢ ) .



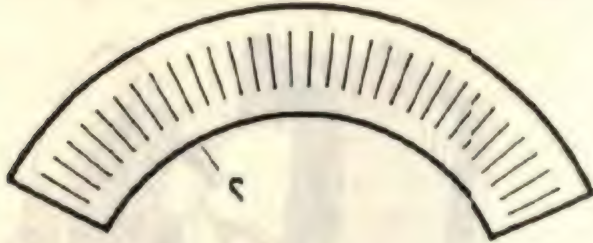
ويمكن الحصول على تدريج خطى بتشكيل خاص للوح الحديد حيث أن عزم اللى يتناسب مع مربع شدة التيار .



شكل ٢٢٣ : أقسام التدريج

١ - قسم مربع .

٢ - قسم خطى .



شكل ٢٢٤ : جهاز قياس بملف متحرك

١ - مغنطيس بشكل حدوة حصان بأطراف قطب .

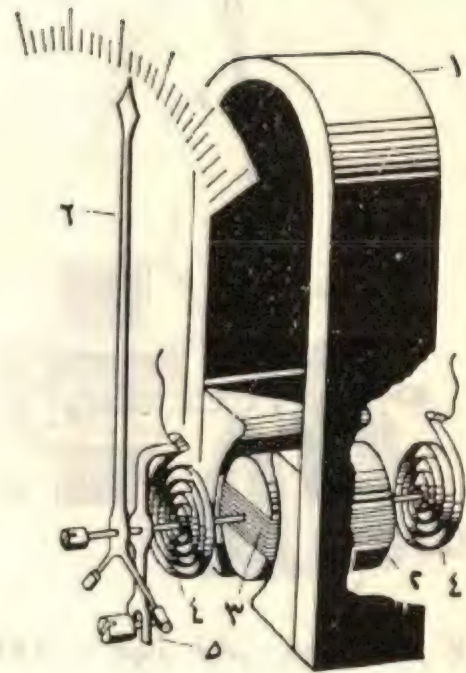
٢ - قلب حديد .

٣ - ملف متحرك .

٤ - زنبركات لولبية .

٥ - تصحيح الصفر .

٦ - مؤشر يتحرك على تدريج .



وتكون القدرة التى تتطلبها آلية التحرك هذه عالية نسبيا ، ولهذا السبب لا يمكن استخدامها لقياس جهود وشدة تيارات منخفضة للغاية ، علاوة على أن آليات الحركة هذه يتوقف عملها على التردد ، وهذا يعنى أن مقاومتها تتغير بتغير التردد ، لهذا السبب فإن أغلب استخدامات أجهزة القياس بحديدية متحركة ينحصر فى دوائر التيار المتردد ( تردد ٥٠ هز ) . وهذه الأجهزة غير مناسبة للقياسات عند مدى الترددات العالية .

### ( ج ) أجهزة القياس بملف متحرك :

يبين الشكل ٢٢٤ تصميمًا لجهاز قياس بملف متحرك . يوضع قلب حديد مستدير فى نطاق مجال حدوة حصان مغنطيسى دائم ، تزود نهايتها بأطراف أقطاب ، وتكون لشفرة الهواء بين أطراف القطب والقلب الحديدى ما يسمى بالمجال المغنطيسى المتجانس فى إتجاه نصف القطر . يركب فى ثغرة الهواء هذه ملف ملفوف على قاعدة من معدن خفيف الوزن ويزود محور هذا الملف بمؤشر .



يفغذى التيار خلال زنبركين لولبيين لهما لفات ملفوفة باتجاه عكسى ، ويمكن بواسطة هذين الزنبركين ضبط وضع الصفر .

وعندما يسرى تيار مستمر فى الملف ، ينتج عزم لى يتوقف إتجاهه على إتجاه التيار ، حيث أن قطبية المغنطيس تبقى كما هى دون تغير . وإذا كان الصفر ، على سبيل المثال ، على الجانب الأيسر للتدرج ، تتلف آلية الحركة عند تعريضها لحمل ذى إتجاه تيار خاطئ ، ولفترة طويلة .

#### تطبيقات أجهزة القياس بملف متحرك :

يكون أساس عمل أجهزة القياس بملف متحرك بحيث تكون هذه الأجهزة مناسبة فقط للتيارات والجهود المستمرة ، وحيث أن آليات الحركة هذه تكون عالية الحساسية الكهربائية ، بحيث تكون متطلبات قدراتها منخفضة للغاية ( حوالى ٠,٠٠١ مللى أمبير عند انحراف كامل على التدرج ) ، فتستخدم أجهزة القياس بملف متحرك أيضا للتيار المتردد ، ويتحقق هذا بمساعدة مقومات أجهزة . تحول هذه النبائط التيار المتردد إلى تيار مستمر ، وسنناقش كيفية تشغيلها فيما بعد بهذا القسم .

وحيث أن المجال المغنطيسى لجهاز القياس بملف متحرك يكون ثابتا ، لذا يتوقف عزم اللى تماما على شدة التيار للملف المتحرك ، ويتناسب عزم اللى مع شدة التيار ، ولهذا السبب تزود أجهزة القياس هذه بأقسام خطية للتدرج .

وتستخدم عادة الملفات المتحركة فى أجهزة القياس الدقيقة ، كما تستخدم فيها عدة مضاعفة التيار الدوامى . وتضاد المجالات المغنطيسية الدوارة التى تتكون فى قاعدة الملف المعدنية الخفيفة الوزن الحركة الدوارة للملف .

#### ( د ) أجهزة القياس بسلك ساخن :

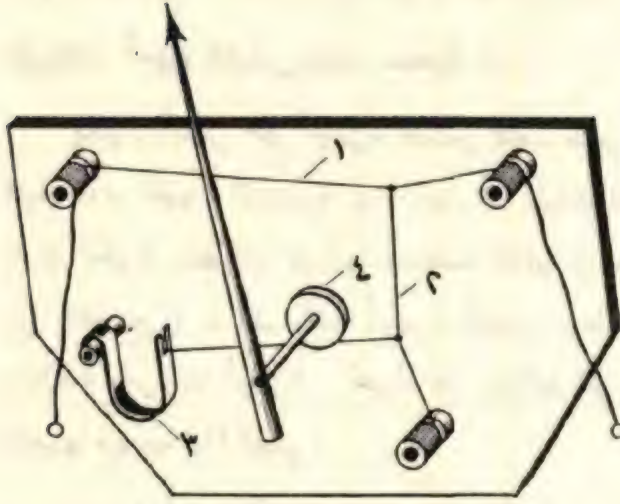
يبين الشكل ٢٢٥ التصميم الأساسى لجهاز قياس بسلك ساخن . يمر تيار خلال سلك تسخين من سبيكة خاصة ، فيتمدد هذا السلك بالتسخين . ويتحرك سلك توتر موضوع بين زنبرك توتر وسلك التسخين ، وذلك نتيجة لتمدد السلك الأخير ( يستطيل سلك التسخين ، بينما ينكمش الزنبرك ) . وتنقل حركة سلك التوتر إلى بكرة مزودة بمؤشر .

#### تطبيقات أجهزة القياس بسلك ساخن :

هذه الأجهزة مناسبة للجهود المستمرة والتيار المستمر ، وكذلك للجهود المتردد والتيار المتردد . وغالبا تكون متطلبات القدرة لأجهزة القياس هذه عالية نسبيا ، وهذا يعنى أنه يمكن إستخدامها فقط عند قياس تيارات وجهود عالية . ومن مضار هذا النوع من أجهزة القياس توليد كمية كبيرة نسبيا من الحرارة ( حوالى ٣٠٠ م° ) ، إلى جانب الحساسية الشديدة للتحميل . إلا أن لآلية الحركة هذه فائدة عدم الإعتماد على التردد .



وحيث أن الحرارة المتولدة تتناسب مع مربع شدة التيار ، اذا يزود جهاز القياس هذا بأقسام تدريج لوغاريتمية .



شكل ٢٢٥ : تمثيل تخطيطي لجهاز قياس بسلك ساخن

- ١ - سلك تسخين .
- ٢ - سلك توتر .
- ٣ - زنبرك توتر .
- ٤ - بكرة بمؤشر .

وأحيانا تزود أجهزة القياس بسلك ساخن بأنظمة مضادة للتيار الدوامي . وقد أصبحت هذه الأجهزة ، في يومنا هذا ، غير شائعة الاستخدام .

#### ( هـ ) أجهزة القياس الإستاتيكية الكهربائية :

سبق وصف الإلكتروسكوب ( المكشاف الكهربائي ) . وجهاز قياس فرق الجهد في مجال الحديث عن الشحنات الإستاتيكية الكهربائية ( القسم الأول - الفصل الثالث ) . وهذا وصف لآلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية من نوع اللوح ، وآلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية الاسطوانية .

#### آلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية من نوع اللوح :

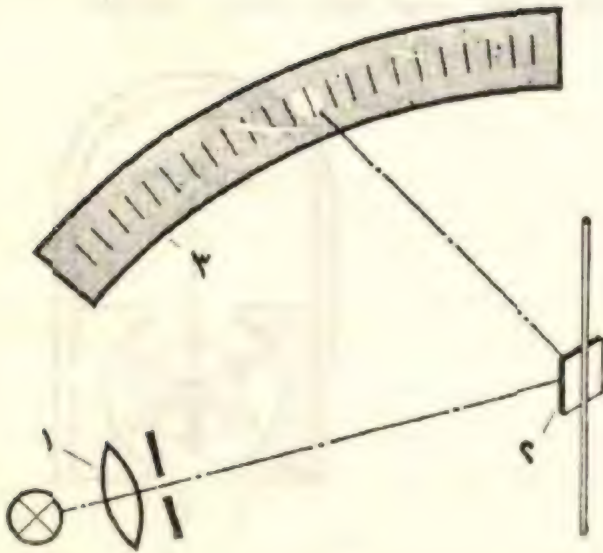
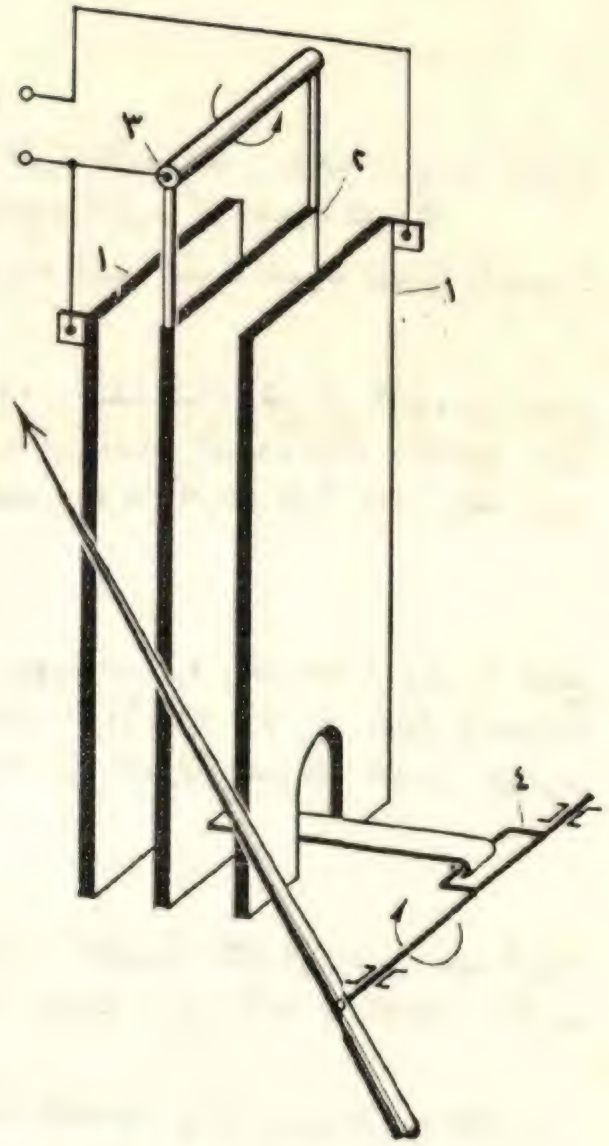
يبين الشكل ( ٢٢٦ ) التصميم الأساسي لآلية حركة من نوع اللوح . يوضع بين لوحين معدنيين ثابتين لوح ثالث ، بحيث يكون حر الحركة ومتراكبا على سطحى اللوحين الثابتين .

تنتقل الحركة من ذراع رافعة إلى محور موصل بمؤشر ( في غالبية التصميمات يركب على المحور قطاع مستدير من سبيكة خفيفة الوزن ويسمح له بالمرور عبر مغنطيس لأغراض المضادة ) .

فإذا سلط جهد على الألواح الثابتة ينحرف اللوح المتحرك وتنتقل الحركة الناتجة عندئذ إلى المؤشر .

شكل ٢٢٦ : آلية حركة استاتيكية كهربائية

- من نوع اللوح  
١ - ألواح ثابتة .  
٢ - لوح متحرك .  
٣ - نقطة ارتكاز اللوح المتحرك .  
٤ - ذراع الرافعة والمحور والمؤشر .



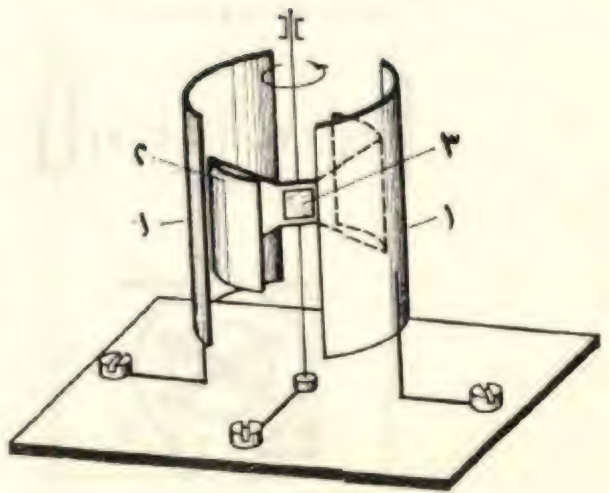
شكل ٢٢٨ : المؤشر المضى لأجهزة القياس

- ١ - مصدر ضوء وعدسة .  
٢ - مرآة .  
٣ - تدريج .

شكل ٢٢٧ : آلية حركة استاتيكية كهربائية

اسطوانية

- ١ - ألواح ثابتة .  
٢ - قرنية الألواح المتحركة .  
٣ - مرآة .





## آلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية الأسطوانية :

يبين الشكل ٢٢٧ التصميم الأساسى لآلية الحركة الأسطوانية . يوضع زوج من الألواح المستديرة المتحركة تبين ألواح مواسع مستدير وتوضع مرآة فى مركز المجموعة المتحركة . تستخدم هذه المرآة للبيان بواسطة الضوء . وهذه الكيفية تكون المجموعة المتحركة ذات وزن أخف منها عندما تكون بمؤشر ميكانيكى .

وتوضح نظرية البيان بالضوء فى الشكل ٢٢٨ . يسقط شعاع رفيع من الضوء من مصباح متوهج ، على المرآة عبر عدسة . وتكون الزاوية بين مصدر الضوء والمرآة والتدريج بحيث تظهر بقعة ضوئية على علامة على التدريج عند الصفر . وإذا انحرفت المرآة تتحرك بقعة الضوء على التدريج تبعاً لذلك .

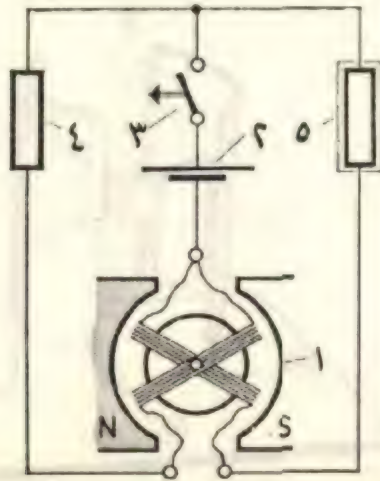
## تطبيقات أجهزة القياس الإستاتيكية الكهربائية :

هذه الأجهزة مناسبة فقط ، لقياس كل الجهود المسنرة والمتردة ، وهى لا تصلح للإستخدام فى قياسات الجهد المنخفض . وتستخدم هذه الأجهزة أولاً فى معامل وحجرات إختبار الجهود العالية . وحيث أن القوة المسلطة على المجموعة المتحركة تتناسب مع مربع الجهد ، فإن التدريج يزود بأقسام لوغاريتمية .

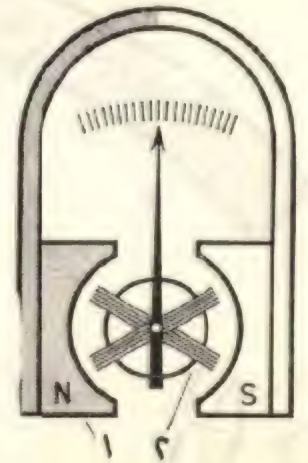
## ٤/٣ - آليات الحركة لقياس المقاومة :

تشبه آلية الحركة التى تشتمل عليها أجهزة قياس المقاومات تلك التى تشتمل عليها أجهزة القياس بجديدة متحركة ، وأجهزة القياس بملف متحرك ، مع الأخذ فى الاعتبار الأسس المغنطيسية الكهربائية التى تحكم حركة هذه الأجهزة .

وفى ما بعد وصف لجهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة ، وكذا وصف لقنطرة المقاومة .



شكل ٢٢٠ : رسم تخطيطى لدائرة جهاز قياس المقاومة بملف متقاطع  
١ - منظر قطاع لآلية الحركة .  
٢ - مصدر الجهد .  
٣ - مفتاح كهربائى بذراع .  
٤ - مقاوم مقارنة م .  
٥ - الشئ المراد قياسه (مقاومة غير معروفة) .



شكل ٢٢٩ أساس تشغيل جهاز قياس المقاومة بالملف المتقاطع  
١ - مغنطيس دائم بأقطاب على هيئة حدوة حصان .  
٢ - ملف متقاطع .



## ( ١ ) جهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة :

بالشكل ٢٢٩ تمثيل تخطيطى لجهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة ، ويشبه التصميم العام له تماما ذلك الخاص بجهاز القياس بملف متحرك . وهو يختلف عن تصميم جهاز القياس بجديدة متحركة . ويتكون هذا الجهاز من لفيفتين منفصلتين ، موضوعتين بزاوية معينة بالنسبة لبعضهما البعض . وعادة تلف اللفيفتان على إطار ملف واحد مشترك . ولا يثبت فى الملف المتحرك زنبرك لولبي ، لعدم ضرورة وجود قوة لإعادة الضبط . يغذى التيار خلال موصلات على هيئة خوص لينة ( وتكون عادة خوصا من الذهب ) .

يبين الشكل ٢٣٠ رسما تخطيطيا لدائرة جهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة ، موضحا طريقة تشغيل هذا الجهاز . يوصل أحد طرفي كل لفيفة مع طرف الأخرى . ويؤدي هذا التوصيل إلى تلامسها مع مصدر الجهد . بينما تمر الوصلتان الأخريان خلال المقاومين ( ٤ ، ٥ ) ، والمفتاح الكهربائي بذراع ، إلى مصدر الجهد . بهذا تكون اللفيفتان موصلتين على التوازي . إلى جانب هذا فإنهما تنتجان عزوم لى متضادة فى الاتجاه . وعندما يمر تيار خلال ترتيبية الدائرة الكهربائية هذه ( بتشغيل المفتاح الكهربائي بذراع ) ، ينتج عزوم لى ( يكون إتجاه أحدهما لى إتجاه دوران عقارب الساعة ، ويكون إتجاه الآخر فى عكس إتجاه دوران عقارب الساعة ) . وإذا كانت المقاومتان متساويتين (  $M = M$  ) ، لا ينحرف المؤشر ، حيث أن التيارين المارين عبر الملفات يكون لهما نفس الشدة ويؤديان إلى تكوين عزوم لى فى إتجاه عكسي ، ولكن بنفس القوة .

توصل آلية الحركة بحيث ينحرف المؤشر إذا كان لتيار المار خلال  $M$  ( المقاومة المراد قياسها ) له قيمة أعلى ، وهذا يمكن من تقسيم التدرج بالأوم ، بحيث تعطى القراءة بالأوم ، وتكون القياسات بواسطة هذا الجهاز صحيحة فقط فى مدى صغير للقياس .

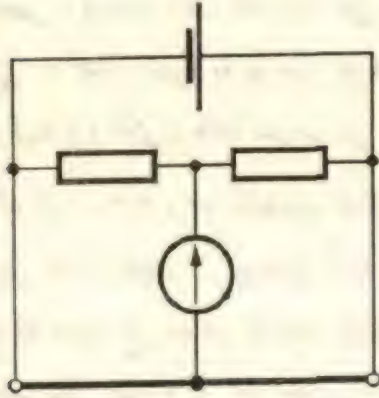
## ( ب ) قنطرة القياس :

تصلح قناطر القياس التى تعرف أيضا بقناطر المقارنة للقياسات عالية الدقة ، ويستخدم فيها ملف متحرك بدور فى أى إتجاه كآلية حركة . يبين الشكل ٢٣١ أساس تشغيل قنطرة القياس . ويوصل سلكان لهما نفس المقاومة على التوازي بمصدر الجهد . وإذا وصل جهاز القياس بحيث يحدث تلامسا فى المركز ، بين سلكى المقاومة تماما ، فإنه لا يسرى تيار . وإذا تغيرت التوصيلات بالكيفية المبينة بالخطوط المتقطعة فى الشكل ٢٣١ ، يسرى تيار فى جهاز القياس . ويمكن ترتيب الدائرة الكهربائية أيضا بالكيفية المبينة فى الشكل ٢٣٢ .

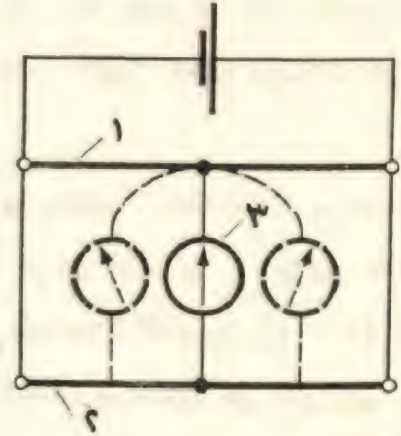
وعلى كل حال ، فسوف لا يمر تيار خلال جهاز اقياس الموصل بهذه الكيفية إذا كانت للمقاومات وأسلاك المقاومة القيم المناظرة ، ويمر تيار فى جهاز القياس فقط إذا كانت



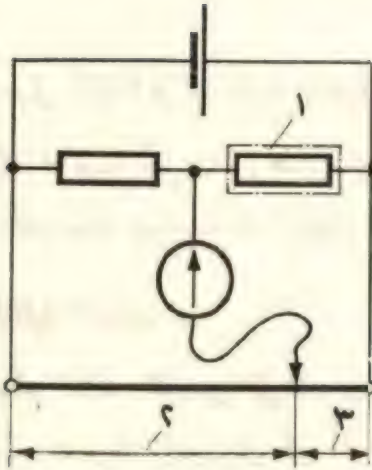
القنطرة غير متزنة ، ويحدث ذلك عندما فستبدل باحدى المقاومتين مقاومة مختلفة . وعند استخدام توصيلة واحدة لجهاز لقياس كمجس لاختبار سلك المقاومة على مدى طوله ، توجد نقطة على سلك المقاومة ( في نطاق مدى معين من قيمة المقاومة الجديدة استبدلة ) ، حيث يقطع عندها التيار المار في السلك ( الشكل ٢٣٢ ) .



شكل ٢٣٢ : قنطرة قياس بمقاومتين جزئيتين وسلك مناوم واحد

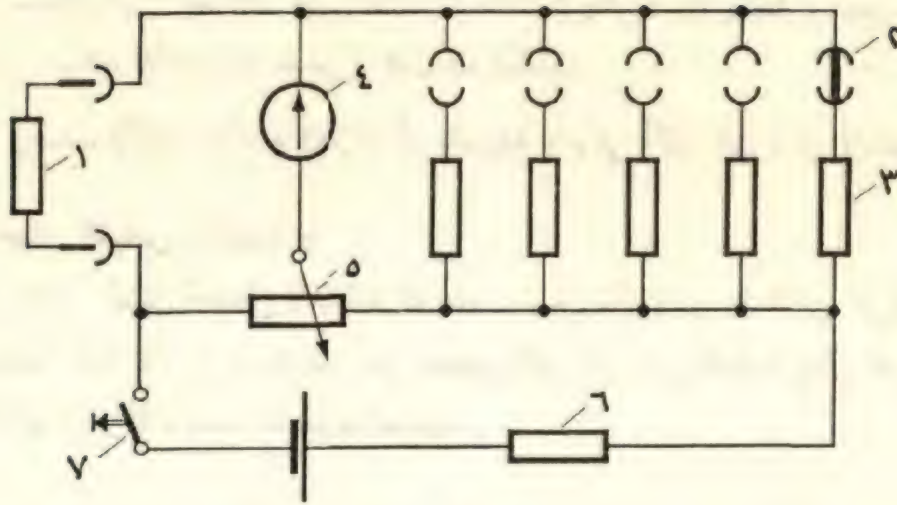


شكل ٢٣١ : أساس قنطرة القياس  
١ - سلك مقاوم .  
٢ - نفس السلك المقاوم مثل ١ .  
٣ - جهاز قياس .



شكل ٢٣٣ : قنطرة قياس بمقاومة مجهولة  
١ - مقاومة مجهولة القيمة .  
٢ - طول ١ من سلك المقاومة .  
٣ - طول ٢ من سلك المقاومة .

في الدائرة المبينة في الشكل ٢٣٢ ، يوصل طرف واحد من جهاز القياس بمركز سلك المقاومة بحيث ينصفه تماما إلى طولين متساويين . في الشكل ٢٣٣ يكون طولاً سلك المقاومة غير متساويين ، لضمان إتزان القنطرة كهربائيا ، فإذا عرفت قيمة مقاومة جزئية واحدة ، أمكن تعيين قيمة المقاومة المجهولة ، من نسبة الأطوال والمقاومة المعروفة .

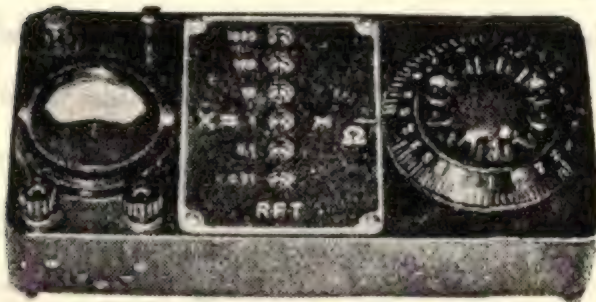


شكل ٢٣٤ : رسم تخطيطي لدائرة قنطرة القياس بأكثر من مدى للقياس

- ١ - المقاومة المطلوب قياسها .
- ٢ - ملامسات إصبع .
- ٣ - مقاومة قياس .
- ٤ - جهاز قياس .
- ٥ - مقاوم متغير .
- ٦ - مقاوم واثق .
- ٧ - مفتاح كهربائي بذراع .

وفي قناطر القياس الصناعية ، يكون لسلك المقاومة شكل ريوستات ( مقاومة متغيرة ) ، يزود زر إدارته برقم . وعند توصيل المقاوم مع المقاومة المجهولة بالقنطرة ، يضبط الريوستات بحيث يبين جهاز القياس القراءة صفر . وبمطابق الرقم على زر الإدارة للمقاوم الدوار ، مع علامة على الصندوق الذي يحتوي عليه تبين قيمة المقاومة المراد قياسها .

وعادة تصمم قناطر القياس من هذا النوع للتشغيل على أكثر من مدى للقياس وينتخب مدى القياس بواسطة إصبع . بالشكل ٢٣٤ رسم تخطيطي ، لدائرة قنطرة قياس ، بمدى متعدد للقياس . ويبين الشكل ٢٣٥ التصميم التجاري لقنطرة قياس صغيرة تستخدم في الورش .



شكل ٢٣٥ : قنطرة قياس بمقاوم



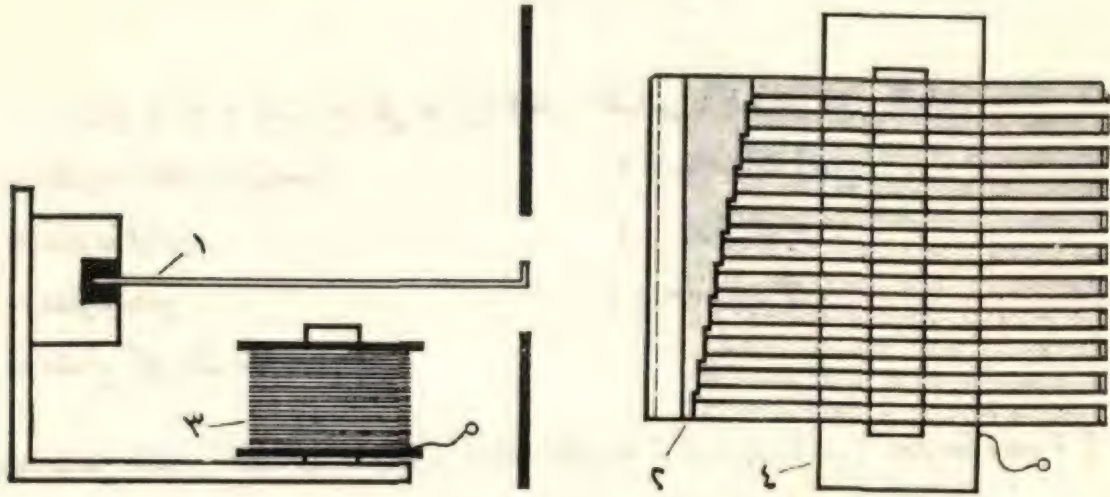
### ٥٣ - آليات الحركة لقياس الترددات :

تقاس الترددات ، بمساعدة أجهزة متعددة ، وعلى أساس طرق مختلفة . وفي مدى التردد المنخفض ، تستخدم أولا عدادات قياس الترددات ذات الرياش ، بينما يفضل في مدى التردد العالي إستخدام قطرة . وهذه الأخيرة لا تدخل في مجال هذا الكتاب .

وفيما يلي وصف لآلية الحركة بالاهتزاز أو بالريشة ، وهي أكثر شيوعا في الإستخدام .

#### ( ١ ) جهاز القياس بالريشة :

بالشكل ٢٣٦ تمثيل تخطيطي لآلية الحركة هذه . وهي مكونة من سلسلة من الريش الصلب ( يكون عددها عادة ١١ ) ، وترتب أعلى مغنطيس كهربائي ، ويكون للرياش الصلب أطوال مختلفة ، كما تكون متزنة بالنسبة لتذبذباتها الطبيعية .

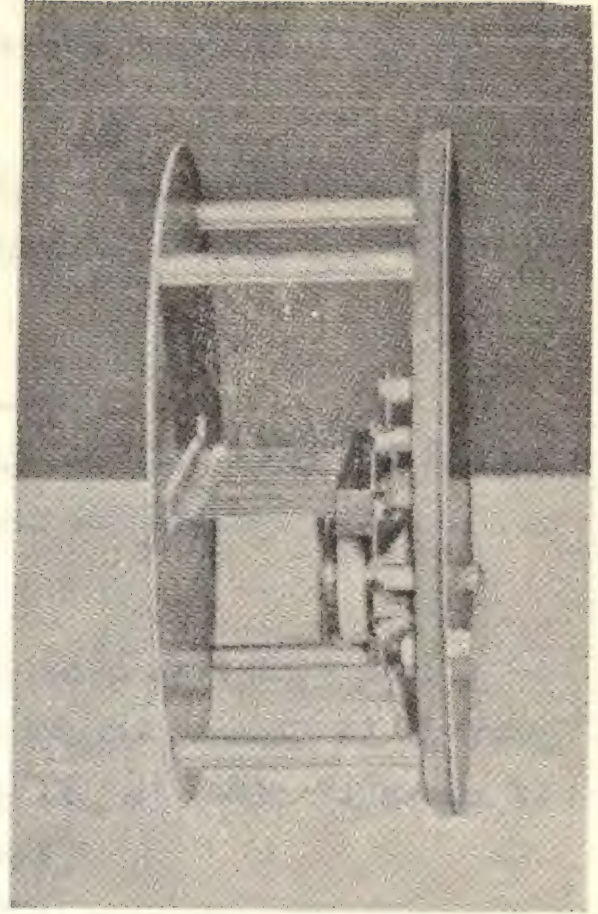
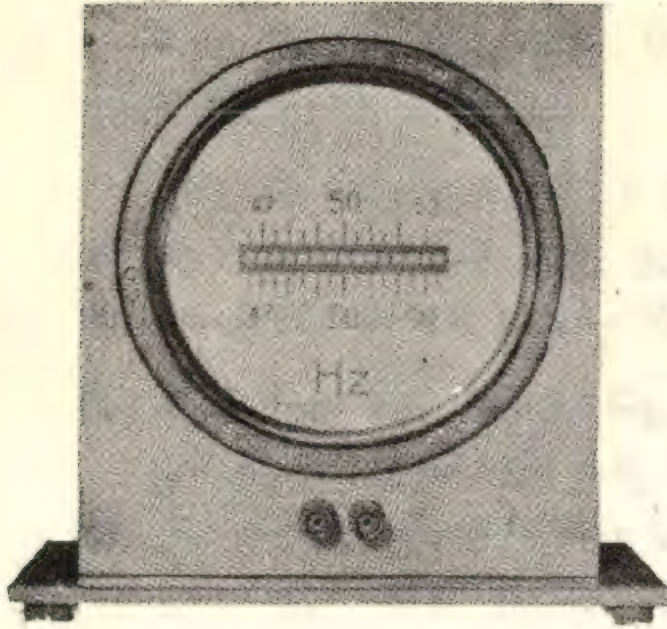


شكل ٢٣٦ : رسم هيكلي لجهاز قياس التردد بريشة

- |                      |                                    |
|----------------------|------------------------------------|
| ١ - ريش صلب .        | ٢ - مسقط علوى لرياش الصلب .        |
| ٣ - مغنطيس كهربائي . | ٤ - مسقط علوى للمغنطيس الكهربائي . |

إذا ضبطت الرياش الصلب على مدى قياس معين . فإن هذه الرياش ، والتي يكون تذبذبها الطبيعي ضعف تذبذب التردد في المغنطيس الكهربائي ، تستجيب للتذبذبات القوية . وهذا يعني أنه إذا سلط تيار متردد بتردد ٥٠ هز على المغنطيس الكهربائي ، فإن الريشة المضبوطة على ١٠٠ تذبذب تهتز بقوة، والريشة المواجهة تتذبذب تذبذبا ضئيلا جدا، أو تفشل في الحركة تماما . والشكل ( ٢٣٧ - ١ ) يبين المسقط الأمامي لجهاز قياس التردد بريشة . والشكل ( ٢٣٧ - ٢ ) ، يبين المسقط الجانبي له .





شكل ٢٣٧ : جهاز قياس التردد بريشة

١ - مسقط أمامي .

٢ - مسقط جانبي .

(ب) تطبيقات جهاز قياس التردد بالريشة :

يستخدم هذا الجهاز أولا للتأكد من ترددات المآخذ الرئيسية للتيار المتردد . ولهذا الأجهزة أهمية خاصة بالنسبة للقياسات التي تجرى على المولدات التي تعمل على التوازي .

٦/٣ - آليات الحركة لقياسات القدرة :

يمكن قياس قدرة نظام ( في حالة التيار المستمر  $\times$  ن ، وفي حالة التيار المتردد ج  $\times$  ت  $\times$  جيب تمام  $\Phi$  ) ، مباشرة بواسطة آليات حركة ديناميكية كهربائية . ولهذا الغرض تكون أجهزة القياس الديناميكية الكهربائية اللا حديدية وذات القلب الحديد مناسبة خصيصا لذلك . وفيما يلي وصف لآلية حركة ديناميكية كهربائية لا حديدية .

(١) آلية الحركة الديناميكية الكهربائية :

يبين الشكل ( ٢٣٨ ) تصميم آلية حركة تشبه تلك الخاصة بجهاز القياس بالملف المستدير تقريبا . يحتوي الملف المستدير على ملف متحرك ، توصل نهايته بزنبركات لولبية مرتبة خارج الملف المستدير . وعلاوة على ذلك صممت الزنبركات اللولبية لإحتجاز الملف المتحرك



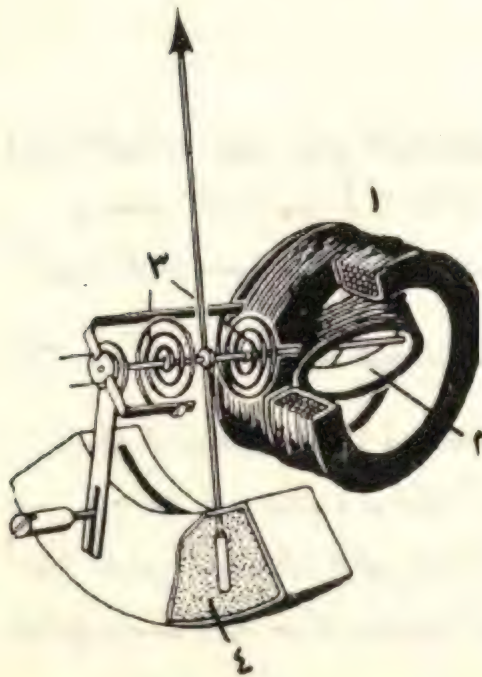
في حالة عدم وجود تيار عمودي على المحور المركزي للملف المستدير . ويركب على محور الملف المتحرك مؤشر ، ونظام مضادة هوائى .

وإذا وصلت الملفات على التوازي ، أو على التوالى ، أو لم توصل ، فذلك ليس بذى بال . وعلى كل ، ينتج عزم لى عندما يمر تيار يحرك الملف المتحرك . وتعيد الزنبركات اللولبية الملف المتحرك (وبالتالى المؤشر) إلى وضعه الأصيل .

#### (ب) تطبيقات أجهزة القياس الديناميكية الكهربائية :

مع أن هذا النوع من آلية الحركة يصلح لقياس الجهد وشدة التيارات ، إلا أنه يستخدم أولا لقياسات القدرة ، حيث أن القدرة التى يتطلبها هذا الجهاز تكون عالية نسبيا . ولهذا تستخدم هذه الأجهزة غالبا في الهندسة الكهربائية .

وهي تصلح لكل من التيار المستمر والتيار المتردد ، حيث أن عزم اللى المنتج لا يتوقف على اتجاه التيار . ويمكن استخدام أجهزة القياس الديناميكية الكهربائية الاحديدية فقط في الأماكن التى لا تتداخل فيها المجالات المغنطيسية معها ( وعلى عكس هذا ، فآليات الحركة الديناميكية الكهربائية بقلب حديد تكون أقل حساسية في هذا المجال ) .



شكل ٢٣٨ : تصميم آلية حركة ديناميكية كهربائية

- ١ - ملف مستدير ثابت .
- ٢ - ملف متحرك .
- ٣ - زنبركات لولبية .
- ٤ - نظام مضادة هوائى .

#### ٧/٣ - التقييم على أجهزة القياس ( الشكل ٢٣٩ ) .

يمكن بسهولة تمييز أى نوع من أجهزة القياس الكهربائية بالنسبة للغرض المصمم من أجله ، وهو قياس الجهود ، أو شدة التيارات ، أو القدرات . ويمكن أيضا في أغلب الحالات تصميم المدى المسروح به لجهاز القياس الكهربائى . وبالنسبة للمكونات الداخلية لجهاز القياس ،



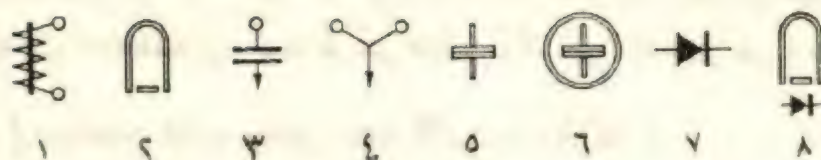
مثل نوع آلية الحركة ، ومقوم جهاز القياس المستخدم ، وطبيعة التيار فإنه لا يمكن تمييزها ببساطة بمجرد النظر . لهذا السبب ترقيم أجهزة القياس الكهربائية برموز تعطى عادة على التدرج . وقد قننت أغلبية هذه الرموز دولياً .

وتبين القائمة التالية الرموز الأكثر أهمية ومدلولاتها (الشكل ٢٣٨ - أ) .

٨/٣ - إطالة مدى القياس :

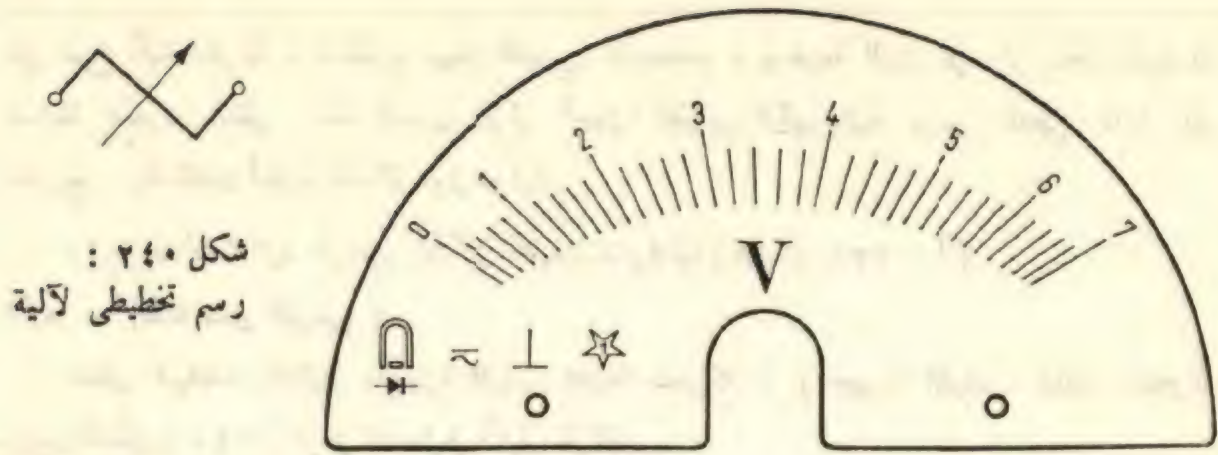
تتعلق البيانات التالية بأجهزة القياس بحديدة متحركة ، وأجهزة القياس بملف متحرك وبين الشكل ( ٢٤٠ ) الرمز التخطيطي لآلية الحركة .

شكل ٢٣٨ أ :



الرمز	المعنى	الرمز	المعنى
١	جهاز قياس بحديدة متحركة	١٠	تصحيح الصفر
٢	جهاز قياس بملف متحرك	١١	تيار مستمر
٣	جهاز قياس إستاتيكي كهربائي	١٢	تيار متردد
٤	جهاز قياس بسلك ساخن	١٣	تيارات مستمرة ومترددة
٥	جهاز قياس ديناميكي كهربائي لا حديدي	١٤	جهاز قياس ثلاثي الأطوار بآلية حركة واحدة .
٦	جهاز قياس ديناميكي كهربائي بقلب حديد .	١٥	جهاز قياس ثلاثي الأطوار بثلاث آليات حركة .
٧	مقوم جاف	١٦	وضع رأسى فى الاستخدام العادى .
٨	جهاز قياس بملف متحرك بمقوم جاف .	١٧	وضع أفقى فى الاستخدام العادى .
٩	رمز جهد الاختبار ( نجمة بدون رقم :	١٨	وضع مائل فى الاستخدام العادى .
	٥٠٠ فلت ، نجمة برقم ٢ : ٢٠٠٠	١٩	وضع خدمة ، زاوية منصوص عليها .
	فلط ... إلخ ) .		





شكل ٢٣٩ : أمثلة للتوقيع على أجهزة القياس : البيانات المعطاة على التدريب تبين أن هذا الجهاز مزود بملف متحرك ومقوم جاف، وأنه مناسب لكل من التيار المستمر والتيار المتردد، وأنه يجب استخدامه في وضعه الرأسى فقط ، وأن جهد الاختبار هو ١٠٠٠ فلت

#### ( ١ ) متطلبات القدرة وعامل الجودة لآليات الحركة :

يقال عن آلية حركة أنها أحسن من غيرها إذا كان عزم لها المرتبط بكتلة العضو المتحرك ( فى هذه الحالة ، يكون العضو المتحرك هو ملف متحرك ، بمحور ، وبمؤشر ) ، أعلى من عزم آلية الحركة الأخرى . ونسبة عزم الى الى كتلة العضو المتحرك يعول عليها بالنسبة لجودة آلية الحركة . وللوصول على نسبة مرضية ، يجب أن تكون الزنبركات اللولبية ، على سبيل المثال ، قوية بقدر كاف لاحتجاز المؤشر فى الوضع الصحيح ، وبدقة ثابتة . وعلى الجانب الآخر ، فإن ذلك يعنى أن عزم الى يجب أن يكون له أيضا قيمة معينة . بهذا ترتفع القدرة التى تتطلبها آلية الحركة إلى مستوى معين ، وهذا يبين أن آلية الحركة يجب أن تتطابق مع مطلبين :

١ - يجب أن يكون لآلية الحركة عامل جودة عال .

٢ - يجب أن تتطلب آلية الحركة أصغر كمية بقدر الإمكان من القدرة اللازمة للتشغيل .

والقدرة التى تتطلبها آليات الحركة فى الأميترات تكون أصغر كلما صغر حاصل ضرب المقاومة الداخلية  $R_d$  للآلية فى مربع شدة التيار  $I$  ، عند الانحراف الكامل على التدريب ، وعليه تكون القدرة التى تتطلبها آلية الحركة .

$$P_d = I^2 \times R_d$$

وبالتالى ، يكون للأميتر ذى متطلب القدرة الأقل مقاومة داخلية أقل .

والقدرة التي تتطلبها آليات الحركة المستخدمة في النظمترات ، تكون أصغر إذا كانت المقاومة الداخلية لكل فلط أكبر . ويعبر دائماً عن هذه التسمية  $\frac{\Omega}{\text{فلط}}$  .

النسبة $\frac{\Omega}{\text{فلط}}$	القدرة التي تتطلبها آلية الحركة ت <sub>١</sub> بالملي أمبير
١٠٠	١٠,٠
٥٠٠	٢,٠
١٠٠٠	١,٠
١٠٠٠٠	٠,١

(ب) إطالة مدى القياس للفلمترات :

تعين قيمة المقاومة الداخلية م<sub>د</sub> ، المتعلقة بمدى معين للقياس للجهد ج ، بواسطة تيار آلية الحركة ت<sub>١</sub> :

$$م_d = \frac{ج}{ت_1}$$

وإذا أعطيت الخواص المميزة لآلية الحركة ت<sub>١</sub> ، م<sub>د</sub> ، يمكن حساب المقاومة م<sub>ج</sub> التي يجب إضافتها بالتوصيل على التوالى ، بالنسبة لمدى جهد معين ج ، وذلك من الصيغة :

$$م_ج = م_d - \frac{ج}{ت_1}$$

مثال :

ما مقاومة التوالى لفلمتر ، مدى قياسه من صفر إلى ٥٠٠ فلط ، إذا كانت المقاومة الداخلية م<sub>د</sub> = ١٠ ، وتيار آلية الحركة ت<sub>١</sub> = ٨ ملي أمبير ؟

المعطيات : ج = ٥٠٠ فلط

ت<sub>١</sub> = ٨ ملي أمبير

م<sub>د</sub> = ١٠ Ω



المطلوب : مقاومة التوالى  $M_j$

الحل :

$$M_j - \frac{C_j}{T_j} =$$

$$10 - \frac{1000 \times 500}{8} =$$

$$10 - 62500 =$$

$$\Omega \ 62490 =$$

لكى يبين جهاز القياس جهد ٥٠٠ فلت عند إنحراف كامل على التدريج ، يجب توصيل مقاومة قيمتها  $\Omega \ 62490$  على التوالى مع آلية الحركة .

بالشكل ٢٤١ رسم تخطيطى لجهاز قياس بثلاثة مدى لقياس الجهود .

وحيث أن  $M_j$  هى نفسها المقاومة  $M_j$  ، بالمعادلة السابقة ، فيمكن تعيين مدى القياس

الثلاثة بالطريقة التالية :

$$(1) \ M_{j1} = \frac{C_j}{T_j} - M_j$$

$$(2) \ M_{j2} = \frac{(C_j - 2C_j)}{T_j} =$$

$$(3) \ M_{j3} = \frac{(2C_j - 3C_j)}{T_j} =$$

وإذا أريد إضافة مدى للقياس أخرى ، يمكن تعيين مقاومات التوالى الإضافية اللازمة ، وذلك بنفس الطريقة .

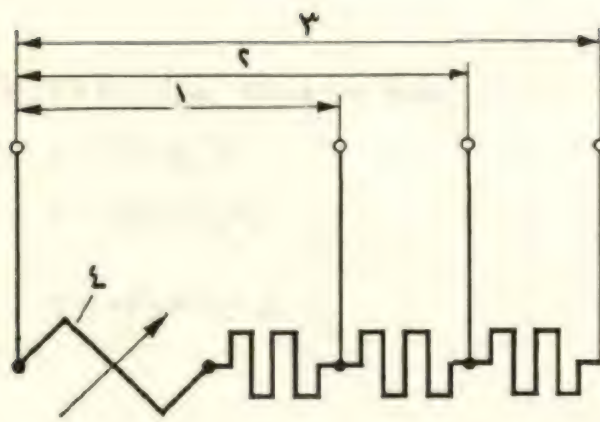
( ج ) إطالة مدى القياس للأميترات :

إذا استخدم جهاز القياس لإجراء قياسات لصالح المستهلك ، فى هذه الحالة يجب أن يكون لجهاز القياس مقاومة داخلية صغيرة جدا ، إذا استخدم كأميتر ، حيث أنه فى هذه الحالة يوصل على التوالى فى الدائرة الكهربائية . ومن توائين الدوائر والشبكات الكهربائية ،

نعم أنه في حالة توصيل مقاومتين على التوازي ، تكون المقاومة الإجمالية أصغر من أصغر مقاومة فردية . وعلى ذلك ، يكون من البديهي توصيل مقاومة أخرى على التوازي مع آلية الحركة ، وذلك لتحسين مدى القياس المستخدم لقياس شدة تيار معينة . وحيث أنه في أغلب الأحيان تصنع لفات الملفات المتحركة من سلك من النحاس ، فإن كمية من الحرارة تتولد في الملف الحامل للتيار ، تؤثر على المقاومة  $R$  . لهذا السبب ، فعند استخدام آليات حركة كأميترات يجب توصيل مقاوم  $R_j$  مصنوع من مادة لا تتأثر بالحرارة ( مثل المنجنين ) ، لها قيمة لا تقل عن  $4 \times R$  ، وذلك على التوازي مع آلية الحركة . بالشكل ٢٤٢ رسم تخطيطي لدائرة أमीتر .

وإذا رمزلدى القياس ، المرغوب فيه لأميتر ، بالرمز  $T$  ، يمكن إيجاد مقاومة التوازي  $R_n$  ، وذلك بالطريقة الآتية :

$$R_n = \frac{(R_j + R_d)}{(T - T_j)} \times T_j$$



شكل ٢٤١ : فلطمتر بثلاثة مدى للقياس

- ١ - مدى القياس I مع  $R_{j1}$
- ٢ - مدى القياس II مع  $R_{j2}$
- ٣ - مدى القياس III مع  $R_{j3}$
- ٤ - آلية حركة .

مثال :

استخدمت آلية الحركة المستخدمة في المثال السابق ، كأميتر بمدى قياس من صفر إلى ٥٠ أمبير . فما قيم مقاومات التوازي ومقاومات التوازي ؟

المعطيات :  $T = 50$  أمبير

$T_j = 8$  مللى أمبير

$R_d = 10 \Omega$



المطلوب :  $M_j$  ،  $M_n$

الحل :

$$(1) \quad M_j = 4 \times M_d = 10 \times 4 = 40 \, \Omega$$

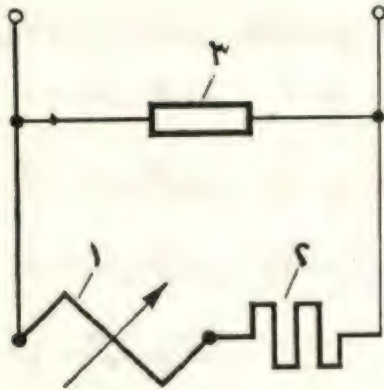
$$(2) \quad M_n = \frac{(M_j + M_d)}{t - t_m} \times 1 = 0,008 \times \frac{40 + 10}{0,008 - 0,05} = 101,7 \, \Omega$$

$$0,008 \times \frac{50}{0,492} =$$

$$0,008 \times 101,7 =$$

$$\approx 0,814 \, \Omega$$

في هذه الحالة ، تكون لمقاومات التوالى مقاومة قيمتها  $40 \, \Omega$  ، ولمقاومات التواز مقاومة قيمتها حوالى  $0,814 \, \Omega$  ، إذا كان مدى قياس الأميتر من صفر إلى  $0,5$  أمبير .



شكل ٢٤٢ : أميتر بمدى واحد للقياس

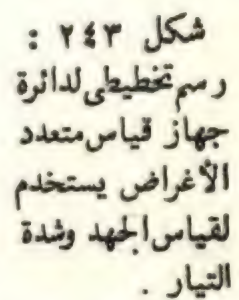
١ - آلية حركة .

٢ - مقاومة توالى  $M_j$

٣ - مقاومة توازى  $M_n$

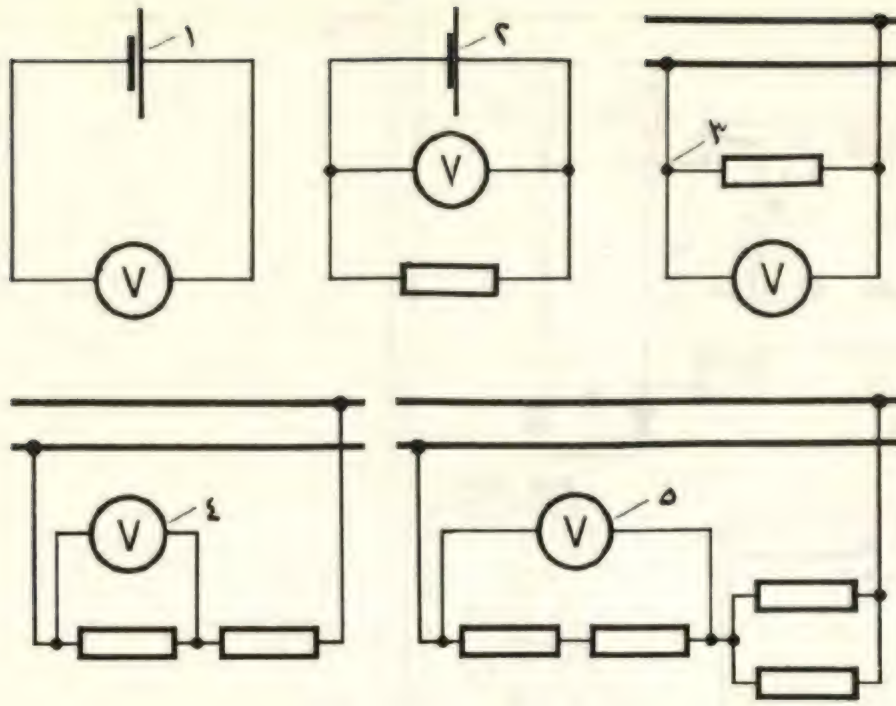
(د) جهاز القياس متعدد الأغراض للجهود وشدة التيارات :

يبين الشكل ٢١٩ جهاز قياس نقالى متعدد الأغراض ، وتوجد هذه الأجهزة بتصميمات متعددة ، ومدى للقياس مختلفة . بالشكل ٢٤٣ رسم تخطيطى لدائرة جهاز قياس متعدد الأغراض ، يستخدم لقياس الجهود وشدة التيارات ، يستخدم هذا التصميم كثيرا في أعمال الإصلاح .



- ۲۲۷





شكل ٢٤٤ :  
رسم تخطيطي يبين  
ترتيبات لقياسات  
الجهد

- ١ - فلطمتر على التوازي مع مصدر الجهد .
  - ٢ - فلطمتر على التوازي مع مصدر الجهد ومقاوم .
  - ٣ - فلطمتر على التوازي مع نظام التغذية ومقاوم .
  - ٤ - فلطمتر على التوازي مع مقاوم على التوالي .
  - ٥ - فلطمتر على التوازي مع مقاومين في شبكية مختلطة ن ( ٤ ) ، ( ٥ )
- لا يقاس الجهد عبر مصدر الجهد ولكن يقاس هبوط الجهد في المقاومات .

٩/٣ - وصف لبضع دوائر قياس :

دوائر قياس الجهد :

لقياس الجهود ، يوصل الفلطمتر على التوازي مع مصدر الجهد ، واحد ، أو عدة أجهزة كهربائية ( الشكل ٢٤٤ ) .

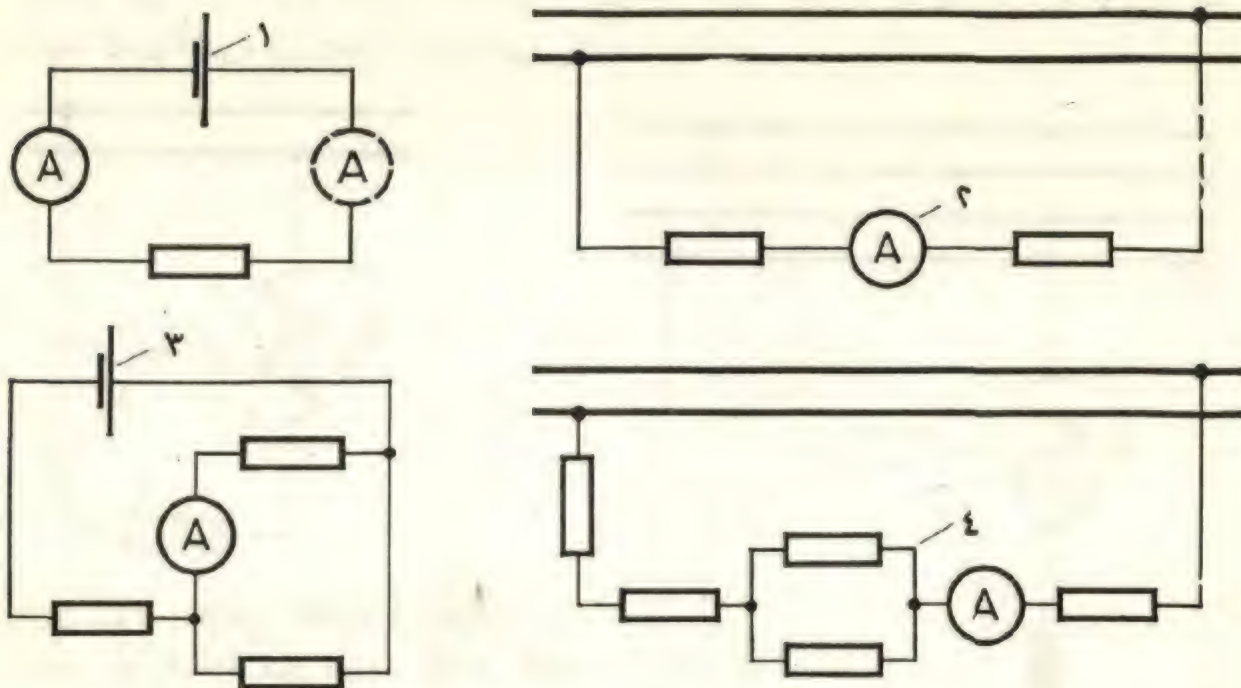
دوائر قياس التيار :

لقياس شدة التيارات ، يوصل الأميتر على التوالي مع أحد ، أو عدة أجهزة كهربائية ( الشكل ٢٤٥ ) .

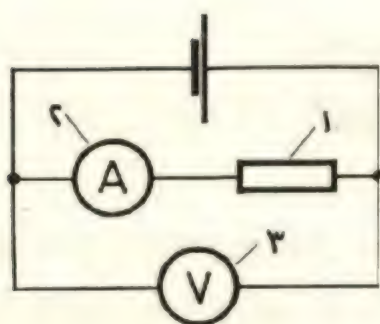
( ١ ) دوائر قياس للتأكد من قيم المقاومات بواسطة قياسات التيار والجهد :

تسمى قياسات المقاومات بواسطة جهاز قياس المقاومة بالملف المتقاطع ، وبواسطة تنطرة المقاومة ، « بطرق قياس المقاومة المباشرة » . وتكون الطرق غير المباشرة ، هي الطرق التي

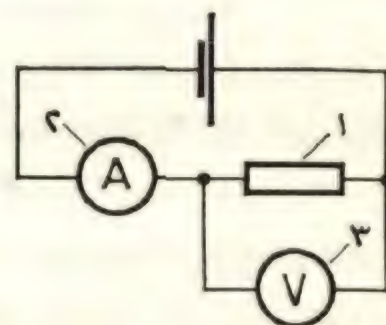
نحسب فيها الكمية المجهولة من كيتين مقاستين ، أو أكثر ، وكما هو معروف جيدا ، يمكن حساب المقاومة م من خارج قسمة  $\frac{V}{I}$  . وهذا يعنى ، أنه إذا أمكن قياس الجهد وشدة التيار ، يمكن حساب قيمة المقاومة م .



شكل ٢٤٥ : رسم تخطيطى لدائرة تبين ترتيبات لقياسات التيار  
 ١ - أميتر على التوالى مع مقاوم .  
 ٢ - أميتر على التوالى مع مقاومين .  
 ٣ - أميتر موصل لقياس فرع من الدائرة .  
 ٤ - أميتر فى شبكية مختلطة .



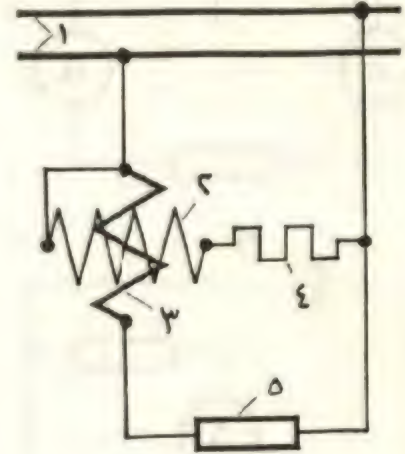
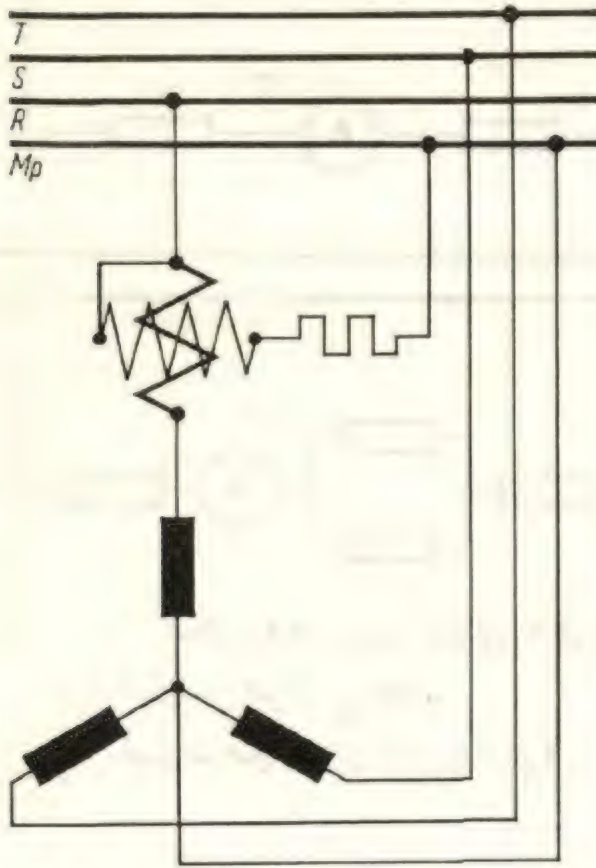
شكل ٢٤٦ : دائرة قياس مهياة لقياسات التيار  
 ١ المقاومة المراد قياسها .  
 ٢ - أميتر .  
 ٣ - فلطمتر .



شكل ٢٤٧ : دائرة قياس مهياة لقياسات الجهد  
 ١ - المقاومة المراد قياسها .  
 ٢ - أميتر .  
 ٣ - فلطمتر .



وبين الشكلان ٢٤٦ ، ٢٤٧ تمثيلا لدائرتي قياس لتعيين المقاومة .  
ومن هذه الأشكال ، يتبين أنه لا يمكن تجنب أخطاء القياس . وفي الشكل ٢٤٦ تشتمل قراءة الفلظمتر على الحبوط في الجهد ، الذي يسببه الأميتر . وفي الشكل ٢٤٧ ، تشتمل قراءة الأميتر على تيار الفرع المار في الفلظمتر . ويصبح تعيين المقاومة بطريقة غير مباشرة أقل دقة كلما كانت القدرة التي تتطلبها أجهزة القياس المستخدمة أكبر .



شكل ٢٤٨ : قياس القدرة في شبكية تيار مستمر أو شبكية تيار متردد أحادى الطور  
١ - شبكية .

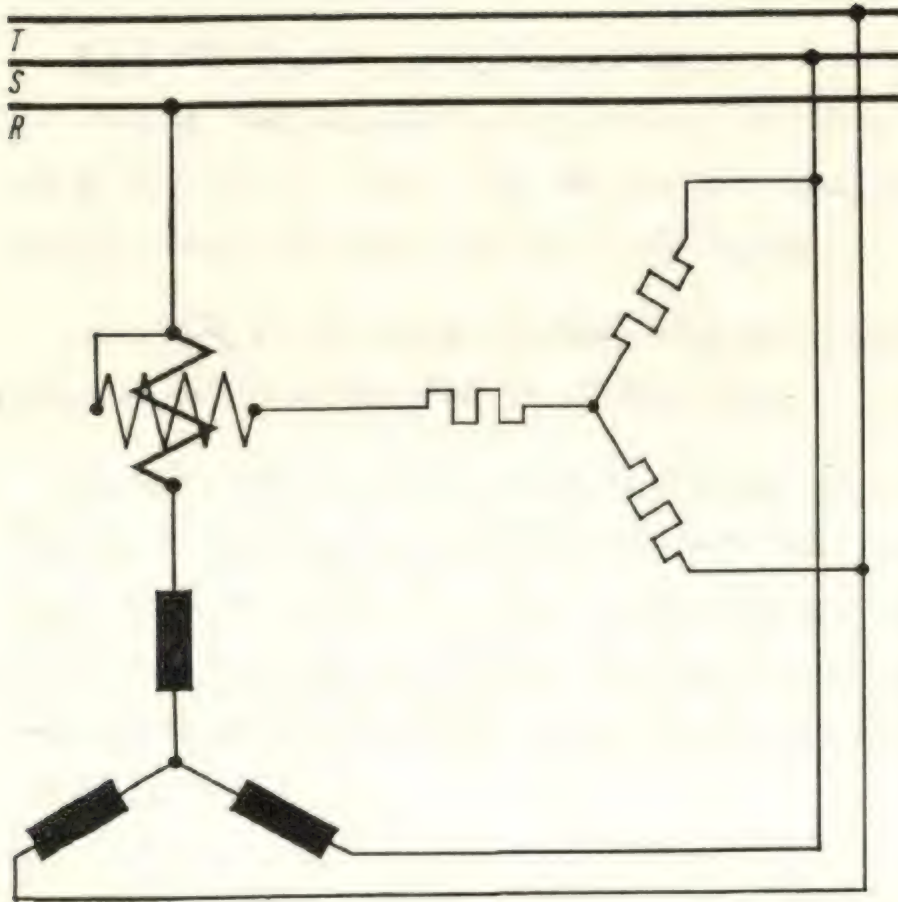
- ٢ - ملف جهد لجهاز قياس القدرة .
- ٣ - ملف تيار لجهاز قياس القدرة .
- ٤ - مقاوم تو الى .
- ٥ - جهاز كهربائي .

شكل ٢٤٩ : قياس القدرة بواسطة فلظمتر في نظام بأربعة أسلاك . في هذه الحالة تكون النتيجة دقيقة إذا كان المحول متماثلا .

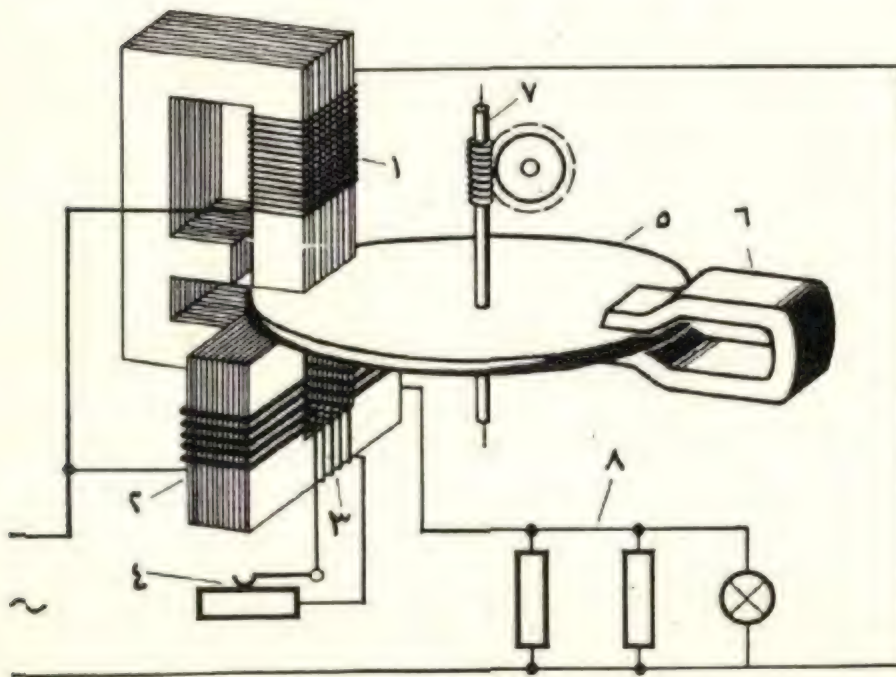
وعلى أساس هذا الطريقة يمكن تعيين المقاومات الأومية ، وبدرجة مرضية من الدقة ، إذا أعدت الدائرة لقياسات التيار ، وكانت المقاومة اداخلية للأميتر أكبر ١٠٠ مرة من أصغر قيمة من المقاومة المراد إيجادها . وفي حالة ترتيبية دائرة لقياسات الجهد ، تكون المقاومة اداخلية للفلظمتر أكبر ١٠٠ مرة من قيمة المقاومة المراد قياسها .

#### (ب) دائرة قياس لقياسات القدرة : ( الشكل ٢٤٨ )

وهي أجهزة قياس القدرة ، والتي تعرف أيضا بالواطمترات (الشكل ٢٤٩ والشكل ١٢٥) ، وهي تشتمل على آليات حركة ديناميكية كهربائية ، ومقاوم توالى لملف الجهد .



شكل ٢٥٠ : قياس القدرة بواسطة فلطمتر في نظام ثلاثة أسلاك ونقطة تعادل صناعية وفي هذه الحالة، تكون القيمة المقاسة دقيقة فقط إذا كان الحمل متماثلاً .



شكل ٢٥١ : قياس الشغل الذي يبذله تيار بواسطة جهاز قياس حتى .

- |                        |                      |                    |
|------------------------|----------------------|--------------------|
| ١ - ملف الجهد .        | ٢ - لفيفات مساعدة .  | ٣ - ملف تيار .     |
| ٤ - مقاوم متغير .      | ٥ - قرص ألومنيوم .   | ٦ - مغنطيس مضادة . |
| ٧ - حلزون نقل للعداد . | ٨ - أجهزة كهربائية . |                    |



( ج ) دائرة قياس لقياس الشغل الذى يبذله التيار :

يحصل على الشغل الذى يبذله التيار من  $J \times T \times Z$  للتيار المستمر ، ومن  $J \times T \times Z \times \Phi$  للتيار المتردد . ويقاس الشغل الذى يبذله التيار المستمر بواسطة جهاز قياس الساعة بمحرك تيار مستمر ، أو بواسطة أجهزة قياس كيميائية كهربائية .

ويبين الشكل ( ٢٥١ ) تصميم ورسم تخطيطى لدائرة جهاز قياس الساعة من النوع الحثى ، والذى يعتبر جهازا نوعيا لقياس الشغل الذى يبذله التيار المتردد .

وفى هذا الجهاز ينتج عزم لى فى قرص من الألومنيوم دوار ، وذلك بواسطة مغنطيسين كهربائيين ، يكونان مع بعض زاوية قائمة ، يحمل أحدهم التيار ، ويوصل الجهد عبر الثانى ، ويوجد ملف مساعد ، يوصل بمقاومة متغيرة ، وذلك لإنتاج إزاحة طور . يضبط عزم الحثى ، ومضادة التيار الدوامى التى يسببها المغنطيس ، بحيث تدور القرص متناسبا مع  $J \times T \times \Phi$  . تنقل حركة الدوران إلى عداد ميكانيكى ، ويبين الشغل الذى يبذله التيار معبرا عنه بالكيلو واط ساعة ( ك . و . س . ) .

via	عن طريق	weston normal cell	
visible signal	إشارة مرئية		خلية ويستون الإمامية
voltage drop	هبوط لفلطية	windings	لفيفات
voltage source	مصدر الجهد	wireless	لاسلكي
		wire wound resistor	
wave	موجة		مقاوم من السلك الملفوف
wave filter	مرشح موجة	work	شغل
wave guide	دليل الموجة		
wave length	طول الموجة	zero position	وضع الصفر



size	مقاس - طراز	three - phase	ثلاثي الطور
slot	شق	thermal	حراري
smelting furnace	فرن صهر	thermistor	ترمستور
socket outlet	مخرج مقبس	thermoplastics	لدائن حرارية
soft iron	حديد رحو ( مطاوع )	thermosetting plastics	لدائن مصلدة حراريا
specimen	عينة	time constant	ثابت زمن
speed of rotation	سرعة الدوران	torque	عزم لي
spherical	كروي	torsion balance	ميزان إلتواء
spot	بقعة	toy motor	محرك كهربائي دمية
stability	اتزان - استقرار	transducer	محول طاقة
star connection (star junction)	توصيلة نجمة	transferring	نقل
startability	المقدرة على بدء الحركة	transformer	محول
stationary	ثابت	transformation	تحويل
stator	عضو ساكن	transient deflection	إنحراف عابر
steatite	إستيتيت ( حجر صابوني )	transmissibility	منقولية ( قابلية للنقل )
strip	خوصة	transmission	نقل
structure	تركيب	transmitter	مرسل
switch gear	مجموعة نفايح التشغيل	trigonometric	مثلثية
switching devices	نبايط تشغيل المفاتيح	trimming	تشذيب المصبوبات
synchronization	تزامن	tubular	أنبوبي
synchronously	بتزامن	tuning oscillation	دائرة موالفة التذبذبات
system	نظام	turns	لفات
temporal	مؤقت	two - phase	ثنائي الطور
tensile force	قوة شد	type	طراز
tension	توتر	vacuum	فراغ
terminal	طرف توصيل	variable	متغير
testing	إختبار	vector	متجه
therapy	علم العلاج الطبي	velocity	سرعة

precision	دقة	repulsion	تنافر
press board	ورق مضغوط	residual magnetism	مغناطيسية متبقية
primary circuit	دائرة ابتدائية	resistance	مقاومة
primary magnetomotive force	قوة دافعة مغناطيسية ابتدائية	resistance bridge	قنطرة قياس المقاومة
propagation	إمتداد - انتشار - انتقال	resistivity	مقاومية
property	خاصية	resistor	مقاوم
prototype meter	متر إمامي	saturation	تشبع
quotient	خارج قسمة	saturation limit	حد التشبع
radial	في اتجاه نصف القطر	scale	تدرج
range	مدى	scanning	مسح
rate	معدل	schematic representation	تمثيل تخطيطي
rated voltage	جهد مقنن	screening	حجب
reactance	مفاعلة	screwdriver	مفك
reactive	غير فعال	secondary current	تيار ثانوى ( تيار الملف الثانوى )
reading	قراءة	sector	قطاع
recording	مسجل	selection	إختيار
reciprocal	مقلوب	selector switch	مفتاح إنتقاء كهربائى
rectangle	مستطيل	self - induction	حث ذاتى
rectifier	مقوم	semi - conductor	شبه موصل
reed	ريشة	semolina	صميد
regulating switch	مفتاح منظم كهربائى	sensitive	حساس
relative permeability	نفاذية نسبية	shaft	عمود إدارة
relay	متابع - مرحل	short circuit	دائرة قصر
remanence	إستبقائية	short wave	موجة قصيرة
rheostat	ريوستات ( مقاومة صغيرة )	sine	جيب الزاوية
rotating machine	مكنة دوارة	single phase	أحادى الطور
rotor	عضو دوار	sinusoidal	جيبى



magnetic	مغناطيسي	palm	راحة اليد
magnetic field strength	شدة المجال المغناطيسي	paper lining	بطانة من الورق
magnetism	مغناطيسية	parabolic heater	مسخن بشكل قطع مكافئ*
magnetite	مغناطيت (حجر المغناطيس)	paramagnetic	بارا مغناطيسي
magnetization	مغنطة - تمغنط	peak value	قيمة الذروة
magnetized	تمغنط	peculiarities	خصوصيات
magnetometer	مغنطومتر (جهاز قياس شدة المجالات اللا كهربية)	pendulum	بندول
magnitude	مقدار	period	دورة
measuring bridge	قنطرة قياس	periodicity	دورية
mechanical	ميكانيكي	periodic time	دورة ( زمن دورى )
media	أوساط	permanent	دائم
medium	وسط	permeability	نفاذية
mesh circuit	دائرة مقفلة	permissible	مسموح به
molecule	جزيء	phenomena	ظاهرة
moving coil	جهاز قياس بملف متحرك	physician	فيزيقي
moving iron instrument	جهاز قياس بحديدية متحركة	physiological	فسيولوجي
mutual	متبادل	pivot	محور ارتكاز
necked - down	مخصر	plastics	لدائن
negative charge	شحنة سالبة	polarity	قطبية
network	شبكة	polarization	إستقطاب
neutral point	نقطة تعادل	pole	قطب
non-conductor	غير موصل	pole changer	مغير القطب
non-hardened	غير صلد	portable	نقالى
ohmic resistance	مقاومة أومية	potentral difference	فرق الجهد
oscillations	تذبذبات	potentiometer	بوتنشيو متر ( مقاومة قياس فرق الجهد )
over lapping	متراكب	power factor	عامل القدرة
		power meter	عداد القدرة
		power station	محطة القوى



helical spring	زنبرك لولبي	insulation loss	فقد العزل
hertz	هيرتز ( هز )	insulating material	مادة عازلة
h.f. reciever	مستقبل تردد عالى	interdependance ( تبادلى )	اعتماد متبادل
h.f. transmitter	مرسل تردد عالى	interference	تداخل
high frequency	تردد عالى	interlinking	توصيل متبادل
homogeneous	متجانس	interrelation	علاقة متبادلة
hourse shoe magnet	مغناطيس على شكل حدوة حصان	intensity	شدة
hypotenuse	وتر	ironless	لا حديدى
hysteresis loop	منحنى أنشوطى للمغناطيسية المتبقية	key switch	مفتاح كهربائى بذراع
		knob	زر
immersion heater	مسخن غاطس	lag	تخلف
impregnated	مشرب بالزيت	laminated fabrics	رقائق قماش
incandescent	مصباح متوهج	laminated papers	رقائق ورق
inconformity	مطابق	lamp holder	دواة مصباح
indicating instrument	جهاز بين	leakage current	تيار تسرب
indicator	مبين	lever arm	ذراع الرافعة
indivisible	غير قابل للانقسام	limits of error	حدود الخطأ
induced current	تيار منتج بالحث	lightening arrester	مانعة صواعق
inductance	محاثة	linear	خطى
inductive	حثى	lines of flux	خطوط الفيض
inductor	محث	live part	جزء مكهرب
influence	تأثير	load	حمل
inhomogeneous	غير متجانس	longitudinal section	قطاع طولى
in parallel	على التوازي	loop	حلقة
input	دخل	low voltage	جهد منخفض
in series	على التوالي	mains	مأخذ رئيسى
installations	تركيبات	magnet	مغناطيسى
instantaneous	لحظى		



electric charges	شحنات كهربائية	equipments	معدات
electric field	مجال كهربائي	equivalent	مكافئ
electricity	كهرباء	expansion	تمدد
electricity engineering	هندسة كهربائية		
electric meter	عداد كهربائي	factor	عامل
electric power	قدرة كهربائية	faulty connection	
electrifiable	قابل للتكهرب		توصيلة خاطئة ( بها عطل )
electrification	كهربة	feed back	تغذية مرتجعة
electro - chemical process		ferromagnetic substance	
	عمليات كيميائية كهربائية		عنصر على الإنفاذية المغنطيسية
electrode	إلكترود	field	مجال
electrodynamic	ديناميكي كهربائي	filament resistor	مقاوم فتيلة التسخين
electrolytic	إليكتروليتي	finger contact	ملامس الإصبع
electromagnet	مغنطيس كهربائي	flasher	وحدة ومضة
electromagnetic	مغنطيس كهربائي	flux	فيض
electrometer		foils	رقائق
	جهاز قياس فرق الجهد الكهربائي	frequency	تردد
electromotive force	قوة دافعة كهربائية	function	دالة
electron dificiency	قصور لإلكترون	fundamentals	أساسيات
electron excess	إلكترون زائد		
electroscope		galvanic cell	
	مكشاف كهربائي ( إلكتروسكوب )		عمود جلفاني ( خلية جلفانية )
electrostatic	إستاتيكي كهربائي	gap	ثغرة
electrothermal switch		generation	توليد
	مفتاح حراري كهربائي	generator	مولد
element	عنصر	geometric	هندسي
elongation	إستطالة	glow lamp	مصباح متوهج
energy	طاقة	graduation	تدريج
equation	معادلة - صيغة		
equilibrium	إتزان	harmonic oscillations	تذبذبات توافقية



commutator	عضو نبديل	deviation	انحراف
compact	متضام	device	نبيطة
conducting plate	لوح موصل	diagramatic	تخطيطي
conductivity	موصلية	diamagnetic	دايا مغنطيسي
conductor	موصل	dielectric	وسط عازل
configuration	تشكيل	dielectric strength	متانة العزل
constant	ثابت	dim light	ضوء خافت
contactor	ملامس - زر تلامس	direct current	تيار مستمر
continuity	استمرارية	disc	قرص
controlling	تحكم	discharge lamp	مصباح تفريغ
converter	محول طاقة	displacement	إزاحة
coresheet	رقائق لصلب	divisibility	قابلية للتجزئة
cosine	جيب تمام	division	قسم
coulomb's law	قانون كولوم	drift velocity	سرعة الانسياب
counter	عداد	driving energy	طاقة دافعة
cross - coil ohmmeter	جهاز قياس بالملفات المتقاطعة	duration	دوام
crystalline	بلوري	dynamic effect	تأثير ديناميكي
crystal structure	تركيب بلوري	dynamo	دينامو
current intensity	شدة التيار	earthing	تأريض
cycle	دورة	earth leakage	تسرب للأرض
cylindrical	اسطوانى	eddy currents	تيارات دوامية
		effective length	طور فعال
damping	مضادة	efficiency	كفاءة - كفاية
decay	اضمحلال	elder pith electroscope	مكشف كهربائى بكرة من نخاع اللسان
decisive factor	عامل حاسم	electrical circuit	دائرة كهربائية
deflection	انحراف	electrical potential	جهد كهربائى
delta connection	توصيلة دلتا	electrical tension	جهد كهربائى
density	كثافة	electric appliances	مستخدمات كهربائية ( أجهزة تعمل بالكهرباء )
deposited	مرسب		



## المصطلحات الفنية

absolute	مطلق	capacitance	مواسعة
accumulators	مراكم	capacitive reactance	مفاعلة سعوية
air gap	ثغرة هوائية	capacitive resistance	مقاومة سعوية
alloy	سبيكة	capacitor	مواسع ( مكثف كهربائي )
alternating	متعدد	casing	غلاف
amber	كهرمان	cell switch	مفتاح خلايا كهربائي
ammeter	أميتر ( جهاز قياس شدة التيار )	ceramic	خزفي
ampere balance	ميزان الأمبير	charges	شحنات
amplifier	مكبر	charging by influence	شحن بالتأثير
angular	زاوي	choke coil	ملف كايح للتيار
annealing furnace	فرن تليدين ( تخمير )	characteristics	خصائص مميزة
antenna	هوائي	circular path	ممر دائري
anticlockwise direction	اتجاه عكس عقارب الساعة	circular section	مقطع دائري
armature	عضو نتاج	circuit arrangement	ترتيبة دائرة
arrangements	ترتيبات	circuit breaker	قاطع دائرة
atom	ذرة	circuit diagram	رسم دائرة
atomic theory	النظرية الذرية	circuit elements	عناصر الدائرة
attraction	تجاذب	classifications	تصنيف
asynchronous	لامتزامن	clockwise direction	اتجاه عقارب الساعة
axle	محور	clutches	قابض
bar magnet	قضيب مغناطيسي	coefficient	معامل
bushing insulator	عازل نفاذي	coercive	قوة قهرية
buzzer	زنان	coercivity	قهرية
calibration	معاير	coil	ملف
		coil frame	إطار الملف
		communications	اتصالات

# سلسلة الأسس التكنولوجية

- ١ - الجداول الفنية ( - )
- ٢ - الكيمياء الصناعية
- ٣ - الرسم الفني ( - )
- ٤ - أشغال الخشب ( التجارة )
- ٥ - التركيبات الكهربائية (  $\times$  )
- ٦ - هندسة السيارات (  $\times$  )
- ٧ - أشغال قطع المعادن (  $\times$  )
- ٨ - اللحام بالقاز ١ ( - )
- ٩ - اللحام بالقاز ٢ ( - )
- ١٠ - الإلكترونيات
- ١١ - المخرطة
- ١٢ - الأمان الصناعي
- ١٣ - براءات التجميع
- ١٤ - هندسة الموتوسيكلات
- ١٥ - النظائر في البحث والصناعة
- ١٦ - الأساسيات الكهربائية ١
- ١٧ - الأساسيات الكهربائية ٢ (  $\times$  )
- ١٨ - هندسة الجرافات (  $\times$  )
- ١٩ - أشغال المعادن (  $\times$  )
- ٢٠ - اللحام بالقاز ٣ (  $\times$  )
- ٢١ - صناعة النسيج (  $\times$  )

( - ) نقد وميعاد طبعه

( + ) طبعة ثانية

(  $\times$  ) تحت الطبع ويصدر قريبا .



# أساسيات الهندسة الكهربائية

الجزء الثاني



الأساس  
التكنولوجية



# أساسيات الهندسة الكهربائية

مؤسسة الأهرام بالقاهرة  
المؤسسة الشعبية للتأليف بليبزج

Edition Leipzig and Al-Ahram Cairo





# الأسس التكنولوجية

الترجمة العربية بإشراف

دكتور مهندس أنور محمود عبد الواحد

## أساسيات الهندسة الكهربائية الجزء الثاني

تأليف : هاسينز جراف

ترجمة : المهندس أحمد مختار شافعي

المهندس إبراهيم يعقوب مطر

c ) Edition Leipzig, German Democratic Republic  
Arabian Edition by Al-Ahram Cairo

Printed by AL-AHRAM, CAIRO



تصميم وتنفيذ  
الهندسة الكهربائية  
والإلكترونية

هذا الكتاب هو الترجمة الكاملة لكتاب

**ELECTRICAL ENGINEERING FUNDAMENTALS II**

**TECHNICAL FUNDAMENTALS** من سلسلة :

## تصدير

هذه السلسلة - الأسس التكنولوجية - ثمرة تعاون وثيق هادف بين دارين من أكبر دور النشر العالمية ، إحداهما دار النشر في لايبزج Edition Leipzig ، والثانية مؤسسة الأهرام ،

وقد تضافرت جهود الدارين على تحقيق النشر العربى لهذه السلسلة الرفيعة التى لقيت كتبها المنشورة بالإنجليزية والفرنسية والأسبانية إقبالا منقطع النظير . ولا عجب أن تنتقى مؤسسة الأهرام هذه السلسلة بالذات لتكون طليعة نشاطها فى مجال النشر العلمى والتكنولوجى .

فالمتصفح لأى كتاب من كتب السلسلة ، أو المستعرض لعناوين الكتب التى صدرت منها حتى الآن ، يجد أن التخطيط لهذه السلسلة يقوم على تبصر عميق باحتياجات الطبقة العريضة من الملاحظين والفنيين الذين يمثلون عصب الإنتاج الصناعى ونوته الكامنة الحقيقية ، لذلك فإن دار النشر فى لايبزج قد عهدت إلى أعلام التأليف التكنولوجى فى جمهورية ألمانيا الديمقراطية بتصنيف كتب هذه السلسلة ، كما عهدت مؤسسة الأهرام إلى خيرة المهندسين ورجال العلم عن لهم نشاط واسع فى مجال الترجمة الفنية للقيام بهذه المهمة .

وواقع الأمر أن فائدة هذه السلسلة غير مقصورة على الملاحظين والفنيين فحسب ، بل هى بالغة الأهمية أيضاً للمهندسين الذين يبتغون توسيع آفاق خبراتهم بالاطلاع على التخصصات الأخرى ، ولغير الفنيين الذين يريدون أن تتكامل معلوماتهم فى مختلف المجالات التكنولوجية .

أنور محمود عبد الواحد





## المحتويات

صفحة

— مقدمة —

هندسة القوى الكهربية  
نظرة عامة على هندسة القوى الكهربية

### الباب الأول : آلات توليد الطاقة الكهربية

١ - عام ... .. ٢٠

٢ - تصنيف المولدات تبعاً لكيفية إثارتها ... .. ٢٠

#### أولاً : مولدات التيار المستمر :

٣ - الغرض من المبدل وكيفية أدائه ... .. ٢٣

٤ - التصميم الميكانيكي لمولد تيار مستمر ... .. ٢٥

٥ - التيار المستمر المتولد من عضو إنتاج بأربعة ملفات ... .. ٢٦

٦ - تصنيف المولدات تبعاً لكيفية توصيل ملفات المجال بملفات عضو الإنتاج ... .. ٢٧

#### ثانياً : مولدات التيار المتردد :

٧ - المولدات وحيدة الطور والمولدات ثلاثية الأطوار ... .. ٢٨

٨ - توصيل مولدات التيار المتردد على التوازي ... .. ٣١

٩ - كيفية القيام بعملية التزامن ... .. ٣٢

١٠ - محطات توليد القدرة الكهربية ... .. ٣٤

### الباب الثاني : توليد الطاقة الكهربية بالطرق الكيميائية ( البطاريات )

١١ - الخلايا الجلفانية ... .. ٣٦

١٢ - المتواليات الكهركيميائية ... .. ٣٦

#### أولاً : الخلايا الابتدائية

١٣ - تكون الخلايا الابتدائية ... .. ٣٨

١٤ - الاستقطاب ... .. ٣٨

١٥ - ظاهرة التأين وظاهرة التحليل الكهربي ... .. ٣٩

١٦ - الخلايا الابتدائية الشائعة الاستعمال ... .. ٤٢



٤٤	١٧ - تصنيف البطاريات الابتدائية التجارية
٤٦	١٨ - طرق توصيل البطاريات
	ثانيا : الخلايا الثانوية ( المراكم ) :
٤٩	١٩ - بطاريات الرصاص الحمضية
٥٠	٢٠ - حالة الشحن وحالة التفريغ لبطاريات الرصاص
٥١	٢١ - تصنيف بطاريات الرصاص التجارية
٥٣	٢٢ - بطاريات التخزين القلوية
٥٣	٢٣ - حالة الشحن وحالة التفريغ للبطاريات القلوية
٥٥	٢٤ - تصنيف بطاريات التخزين القلوية التجارية
٥٨	٢٥ - مقارنة بين مراكم الرصاص والمراكم القلوية
٥٨	٢٦ - طرق شحن المراكم
٦١	٢٧ - معدات شحن المراكم

### الباب الثالث : نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية

٦٥	٢٨ - نظم النقل والتوزيع بجهد عال أو بجهد منخفض
٦٧	٢٩ - الكبلات الأرضية
٦٩	٣٠ - الخطوط الهوائية
٧٢	٣١ - نظم التوزيع بتيار متردد أو بتيار مستمر
٧٤	٣٢ - شبكات توزيع الطاقة الكهربائية

### الباب الرابع : وسائل التحكم في الطاقة الكهربائية

#### أولا : وسائل التحكم في الجهد العالي

٧٩	٣٣ - وسائل القطع والوصل في الجهد العالي
٨٢	٣٤ - القضبان المجمعة
٨٣	٣٥ - مفاتيح الجهد العالي
٨٨	٣٦ - مصاهر الجهد العالي
٩٢	٣٧ - الإشراف والتحكم في الطاقة الكهربائية بجهد عال

#### ثانيا : وسائل التحكم في الجهد المنخفض

٩٧	٣٨ - عام
٩٧	٣٩ - وسائل القطع والوصل في الجهد المنخفض



٤٠ - مصاهر الجهد المنخفض والقواطع الأتوماتيكية ... .. ١٠٦

٤١ - طرق توصيل الطاقة الكهربائية إلى المباني ... .. ١٠٩

الباب الخامس : أجهزة تحويل نوع من الطاقة الكهربائية إلى نوع آخر من الطاقة الكهربائية :

أولا : المحولات

٤٢ - التعريف بأساسيات المحول ... .. ١١٤

٤٣ - أنواع المحولات وطرق تصميمها ... .. ١١٧

٤٤ - تبريد المحولات ووسائل الوقاية المستخدمة فيها ... .. ١٢٢

ثانيا : مجموعة المحرك - مولد

٤٥ - كيفية عمل مجموعة المحرك - مولد ... .. ١٢٤

ثالثا : المغيرات الدوارة ( المحولات الدوارة )

٤٦ - كيفية عمل المغيرات الدوارة ... .. ١٢٤

رابعا : مغيرات التردد :

٤٧ - كيفية عمل مغيرات التردد ... .. ١٢٥

خامسا : المقومات ( الموحدات )

٤٨ - أنواع المقومات وطريقة عملها ... .. ١٢٦

٤٩ - المقومات ذات الملامسات الميكانيكية ... .. ١٢٧

٥٠ - المقومات شبه الموصلة ... .. ١٢٧

٥١ - دوائر التقويم ودوائر الترشيح ... .. ١٣١

الباب السادس : أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية :

المحركات الكهربائية

٥٢ - تصنيف المحركات ... .. ١٣٣

٥٣ - تصنيف المحركات تبعا لنوع الخدمة ... .. ١٣٤

٥٤ - تصنيف المحركات تبعا لدرجة الوقاية المتوفرة فيها ... .. ١٣٥

٥٥ - تصنيف المحركات تبعا لتصميمها وطرق تثبيتها ... .. ١٣٦

٥٦ - تصنيف المحركات تبعا لتغير سرعتها بتغير الحمل ... .. ١٣٦

أولا : المحركات ذات السرعة الثابتة

٥٧ - محركات ثلاثية الأطوار بعضو دوار على هيئة قفص سنجابي ... .. ١٣٨

٥٨ - محركات التيار المستمر بلف على التوازي ... .. ١٤١



١٤٢	... ..	٥٩ - محركات التيار المستمر بلف مركب
١٤٣	... ..	٦٠ - محركات ثلاثية الأطوار بلف على التوازي
١٤٥	... ..	٦١ - محركات لا تزامنية وحيدة الطور
١٤٧	... ..	٦٢ - المحركات التزامنية

## ثانيا : محركات بسرعة محكمة بالحمل :

١٤٧	... ..	٦٣ - محركات التيار المستمر بلف على التوازي
١٤٩	... ..	٦٤ - محركات ثلاثية الأطوار بلف على التوازي
١٤٩	... ..	٦٥ - محركات ثلاثية الأطوار بحلقات انزلاق
١٥٠	... ..	٦٦ - محركات تنافرية وحيدة الطور

## المغناطيسات الكهربائية

١٥١	... ..	٦٧ - المغناطيسات الرافعة
١٥١	... ..	٦٨ - المغناطيسات الكهربائية المستخدمة في تثبيت المشغولات

## الباب السابع : أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية :

١٥٣	... ..	٦٩ - إنتاج المعادن بالتريسيب الكهربائي
١٥٣	... ..	٧٠ - جلفنة المعادن
١٥٥	... ..	٧١ - جلفنة اللدائن ( البلاستيك المجلفنة )

## الباب الثامن : أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية :

١٥٨	... ..	٧٢ - عام
١٥٨	... ..	٧٣ - المصابيح المتوهجة
١٥٩	... ..	٧٤ - مصابيح التفريغ المتألقة
١٦٤	... ..	٧٥ - هندسة الإضاءة
١٦٥	... ..	٧٦ - وسائل تثبيت المصابيح

## الباب التاسع : أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية :

١٦٩	... ..	٧٧ - عام
١٧٠	... ..	٧٨ - المعدات المستخدمة في تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية



## هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية

نظر عامة على هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية ١٧٧

الباب الأول : أجهزة تحويل المعلومات الميكانيكية أو الحرارية أو الضوئية أو الصوتية إلى إشارات كهربائية :

أولا : أجهزة تحويل المعلومات الميكانيكية إلى إشارات كهربائية :

١ - مفاتيح التلامس ... .. ١٧٩

ثانيا : أجهزة تحويل المعلومات الحرارية إلى إشارات كهربائية :

٢ - المزدوج الحرارى ... .. ١٨١

٣ - الترمومتر الزئبق ذو العلامات ... .. ١٨٣

٤ - المفتاح ثنائى المدن ... .. ١٨٣

٥ - مفتاح التحكم فى الحرارة ... .. ١٨٤

ثالثا : أجهزة تحويل المعلومات الضوئية إلى إشارات كهربائية

٦ - الخلية الكهروضوئية ... .. ١٨٧

٧ - العناصر الكهروضوئية ... .. ١٨٧

٨ - الصمامات المستخدمة فى نقل الصور ... .. ١٨٨

رابعا : أجهزة تحويل المعلومات الصوتية إلى إشارات كهربائية

٩ - الميكروفونات ... .. ١٩٠

الباب الثانى : أجهزة تحويل الإشارات الكهربائية إلى معلومات صوتية أو ضوئية :

أولا : أجهزة تحويل الإشارات الكهربائية إلى معلومات صوتية :

١٠ - الأجراس والأبواق ... .. ١٩٢

١١ - سماعة الرأس ... .. ١٩٤

١٢ - مكبر الصوت ... .. ١٩٥

ثانيا : أجهزة تحويل الإشارات الكهربائية إلى معلومات ضوئية :

١٣ - مصابيح الإشارة ولوحات البيان ... .. ١٩٦

١٤ - الصمام ذو الشعاع الكاثودى ... .. ١٩٩

الباب الثالث : تضخيم الإشارات الكهربائية :

١٥ - عام ... .. ٢٠١



٢٠١	... ..	١٦ - المرحلات
٢٠٣	... ..	١٧ - تضخيم الإشارات ذات التردد العالي
٢٠٤	... ..	١٨ - الصمام الثلاثي المستخدم كضخم
٢٠٤	... ..	١٩ - تضخيم الإشارات ذات التردد المنخفض
٢٠٦	... ..	٢٠ - المواد شبه الموصلة المستخدمة كضخم

#### الباب الرابع : أجهزة إرسال واستقبال الإشارات ذات التردد العالي :

٢٠٨	... ..	٢١ - طرق توليد التيارات العالية التردد
٢١٢	... ..	٢٢ - تشكيل الموجات الحاملة ذات التردد العالي
٢١٣	... ..	٢٣ - تشكيل سعة الموجات الحاملة
٢١٤	... ..	٢٤ - تشكيل تردد الموجات الحاملة
٢١٥	... ..	٢٥ - أجهزة استقبال الموجات ذات التردد العالي
٢١٥	... ..	٢٦ - مدى الإرسال للموجات ذات التردد العالي
٢١٨	... ..	٢٧ - أجهزة الإرسال التلغرافي ذات التردد العالي
٢١٩	... ..	٢٨ - أجهزة الإرسال التليفزيوني ذات التردد العالي
٢٢٣	... ..	٢٩ - أجهزة استقبال موجات الراديو ذات التردد العالي
٢٢٧	... ..	٣٠ - أجهزة الاستقبال التليفزيوني
٢٢٩	... ..	٣١ - هندسة الرادار

#### الباب الخامس : مصادر تغذية أجهزة الإرسال والاستقبال بالتيار المستمر :

٢٣٣	... ..	٣٢ - تصنيف مصادر تغذية أجهزة الإرسال والاستقبال
٢٣٣	... ..	٣٣ - المشاكل المتعلقة بالتيار المستمر الناتج من تقويم تيار متردد
٢٣٤	... ..	٣٤ - مرشح الموجات

#### الباب السادس : طرق الاتصال السلكية واللاسلكية :

##### أولا : طرق الاتصال السلكية

٢٣٦	... ..	٣٥ - الكبلات المحلية وكبلات الترنك
٢٣٨	... ..	٣٦ - حمل المكالمات التليفونية بالتردد العالي

##### ثانيا : طرق الاتصال اللاسلكية

٢٣٩	... ..	٣٧ - الغلاف الجوي
٢٣٩	... ..	٣٨ - الموجات السماوية والموجات الأرضية

## مقدمة

سبق أن تناولنا في الجزء الأول من كتاب « أساسيات الهندسة الكهربائية » شرح الأسس الفيزيائية والتكنولوجية لمهندسة الكهربائية والجوانب المختلفة للفروع المتعلقة بهذا المجال .

وتعطي دراسة الجزء الأول ، المعلومات الفيزيائية الأساسية للكهرباء ، وكيفية قياس الكميات الكهربائية ، مع شرح أجهزة القياس المستخدمة وطرق اختبارها ومعايرتها .

وهذا الجزء الثاني يبحث في مجالين واسعين من مجالات الهندسة الكهربائية هما :

« هندسة القوى الكهربائية » و « هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية »

ويتناول القسم الخاص بهندسة القوى الكهربائية كيفية توليد الطاقة الكهربائية وتحويلها إلى أشكال أخرى من الطاقة .

أما القسم الخاص بهندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية ( هندسة التيار الضعيف ) فيتناول كيفية توصيل المعلومات بعد تحويلها إلى إشارات كهربائية ضعيفة من مكان إلى آخر .

وتقسيم الكتاب إلى هذين المجالين لا يعنى أنهما منفصلان عن بعضهما البعض ، بل على العكس من ذلك فإن كلا منهما يرتبط بالآخر ارتباطاً وثيقاً . فأى جهاز راديو أو تليفزيون يحتاج إلى كمية من القدرة الكهربائية لاستقبال الإشارات الكهربائية الضعيفة وتحويلها إلى معلومات مسموعة أو مرئية . كما أن كثيراً من المحركات الكهربائية وتركيبات الإضاءة يتم تنظيمها والتحكم فيها بواسطة مركبات كهربائية ذات قدرة دخل منخفض ، أى تعمل بتيار ضعيف . ويتضح من ذلك أن هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية وثيقة الصلة بهندسة القوى الكهربائية .

ويقدم هذا الكتاب دراسة مستفيضة في الفروع المختلفة للهندسة الكهربائية وفي الأساسيات الكهربائية ، بحيث يمكن للقارئ ، مستعيناً بهذه المعلومات ، أن يتعرف بسهولة على طبيعة العلاقة التي تربط مجال « هندسة القوى الكهربائية » بمجال هندسة « الاتصالات السلكية واللاسلكية » ( هندسة التيار الضعيف ) .





## هندسة القوى الكهربائية





## نظرة عامة على هندسة القوى الكهربائية

يشمل مجال هندسة القوى الكهربائية الموضوعات الآتية :

- توليد الطاقة الكهربائية .
- نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية والتحكم فيها .
- تحويل الطاقة الكهربائية إلى أنواع أخرى من الطاقة .

وتغطي الموضوعات الثلاثة السابقة كل ما يتعلق بهندسة القوى الكهربائية ابتداء من « محطة توليد القدرة الكهربائية » ، حتى وصول الطاقة إلى المستهلك . ففي محطة توليد القدرة الكهربائية تتحول الطاقة الميكانيكية ، أو طاقة المساقط المائية ، أو الطاقة الحرارية ( الطاقة المتولدة نتيجة لاحتراق الفحم مثلاً ) إلى طاقة كهربائية . ومن هذه المحطة تنقل الطاقة الكهربائية ، وتوزع على المستهلكين . وفي الأجهزة والمعدات التي يستخدمها المستهلك تحول الطاقة الكهربائية إلى أى نوع آخر من الطاقة المطلوبة : ميكانيكية أو حرارية أو ضوئية .

### توليد الطاقة الكهربائية :

تولد الطاقة الكهربائية بإحدى الطرق الآتية :

- آلات توليد الطاقة الكهربائية ( المولدات ) .
- الطرق الكيميائية لتوليد الطاقة الكهربائية ( البطاريات ) .
- الطرق الضوئية لتوليد الطاقة ( الخلايا الكهروضوئية ) .

### آلات توليد الطاقة الكهربائية ( المولدات ) :

تولد الطاقة الكهربائية بكميات كبيرة في محطات توليد القدرة الكهربائية . وتقسم المحطات تبعاً لنوع الطاقة التي تقوم بدفع المحرك الأولي إلى :

- ( أ ) محطات حرارية : يدار فيها المحرك الأولي باستخدام الطاقة الناتجة من احتراق الوقود .
- ( ب ) محطات هيدروليكية : يدار فيها المحرك الأولي باستخدام الطاقة الناتجة من وجود فرق بين منسوبي المياه في مجرى النهر .
- ( ج ) محطات هوائية : يدار فيها المحرك الأولي باستخدام تيار الهواء .



الطرق الكيميائية لتوليد الطاقة الكهربائية ( البطاريات ) :

تولد الطاقة الكهربائية بكميات صغيرة بالطرق الكيميائية بواسطة البطاريات والمراكم .  
وتنقسم المراكم عادة إلى :

( أ ) مراكم قلووية : سائلها الإلكتروليتى قلووى .

( ب ) مراكم حمضية : سائلها الإلكتروليتى حمضى .

الطرق الضوئية لتوليد الطاقة الكهربائية ( الخلايا الكهروضوئية ) :

تولد الطاقة الكهربائية بكميات صغيرة جداً باستخدام عناصر حساسة للضوء يطلق عليها اسم « الخلايا الكهروضوئية » .

ولقد تناولنا بالشرح المولدات والبطاريات فى قسم هندسة القوى الكهربائية، بينما تناولنا موضوع الخلايا الكهروضوئية فى قسم هندسة التيار الضعيف ( هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية ) .

نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية :

تنقل الطاقة الكهربائية بواسطة خطوط تغذية بنظام جهد عال ، ثم يخفض هذا الجهد العالى بواسطة محولات القدرة ، وبعد ذلك توزع الطاقة بواسطة خطوط تغذية بنظام جهد منخفض ، حتى يصل إلى المستهلك . ويطلق على خطوط التغذية هذه عادة اسم « شبكة النقل والتوزيع » .

وسائل التحكم فى الطاقة الكهربائية

تستخدم وسائل التحكم فى نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية لعملية الإشراف والتحكم والحماية وتنقسم إلى :

١ - وسائل تحكم فى الجهد المنخفض .

٢ - وسائل تحكم فى الجهد العالى .

أجهزة تحويل نوع من الطاقة الكهربائية إلى أنواع أخرى من الطاقة :

يشمل هذا القسم المعدات والآلات المستخدمة فى تحويل الطاقة الكهربائية إلى أنواع أخرى من الطاقة ، وتنقسم إلى :

أولاً : أجهزة تحويل نوع من الطاقة الكهربائية إلى نوع آخر من الطاقة الكهربائية :

يشمل هذا الباب المحولات والمفبرات والمقومات . . . إلخ ، والتي تقوم بتحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر والعكس ، أو بتحويل التيار أو الجهد من قيمة معينة إلى قيمة أخرى .



## ثانياً : أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية :

ويتضمن هذا الباب شرحاً وافياً للمحركات الكهربائية والمغناطيسات الرافعة التي تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية .

## ثالثاً : أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية :

تناولنا في هذا الباب كيفية استخدام التحليل الإلكتروليتي لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية لاستخدامها في عمليات الجلفنة وطلاء المعادن ، وفي عمليات الترسيب الكهربائي لاستخراج النحاس النقي والفلزات الأخرى .

## رابعاً : أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية :

ناقشنا في هذا الباب استخدام المصابيح بأنواعها المختلفة لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية ، مثل المصابيح المتوهجة والمصابيح المتألقة ومصابيح الصوديوم . . . إلخ .

## خامساً : أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية :

أوجزنا في هذا الباب كيفية استخدام المقاومات والأفران الكهربائية وطرق الحث الكهربائي والإشعاعات ، لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية .

وقد أعطينا بهذا الموجز فكرة عامة عن هندسة القوى الكهربائية التي سنتناولها بالشرح .  
علماً بأن هذا الكتاب لا يبحث في العمليات الصناعية الخاصة بتصنيع المحركات الكهربائية أو أي طراز من الآلات الكهربائية ذات الكفاءة العالية ، أو وصف المصانع التي تستطيع إنتاج مئات المصابيح المتوهجة في أقل فترة من الزمن . وإنما يتناول وصف وشرح التصميمات وطرق التشغيل ومجال استخدام المحولات والمحركات ومعدات الطاقة الكهربائية بأنواعها المختلفة .



## الباب الأول

### آلات توليد الطاقة الكهربائية

#### ( المولدات )

( ١ ) عام :

تولد الطاقة الكهربائية في محطات توليد القدرة بواسطة آلات كهربائية دوارة ، يطلق عليها اسم المولدات . وتتركب جميع أنواع المولدات من عضو ساكن ( ثابت ) ، وعضو دوار . يدار العضو الدوار عادة بواسطة آلة تسمى المحرك الأولي .

ويطلق اسم « الدينامو » على المولدات الصغيرة المستخدمة في تغذية النظام الكهربائي للسيارات والدراجات . ويتميز الدينامو عن المولدات المستخدمة في محطات توليد القدرة الكهربائية بصغر حجمه وانخفاض قدرة خرجة .

( ٢ ) تصنيف المولدات تبعاً لكيفية إثارتها :

تنبنى نظرية المولد على القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية المتولدة بالحث في الملفات الموجودة على عضو الإنتاج ( العضو الدوار ) ، حيث تقطع هذه الملفات أثناء دورانها خطوط القوى المغناطيسية الناشئة من مغنطيس دائم مثل ذلك المستخدم في حالة الدينامو ، أو من مغنطيس كهربائي مثل ذلك المستخدم في حالة المولدات الكبيرة . وتسمى المغنطيسات الكهربائية عادة مغنطيسات المجال .

ويطلق خبراء تصميم الآلات الكهربائية على طرق تغذية ملفات مغنطيسات المجال بالتيار الكهربائي اسم « الإثارة » أو « إثارة المولدات » .

وتقسم المولدات عادة تبعاً لكيفية إثارة ملفات مغنطيسات المجال إلى :

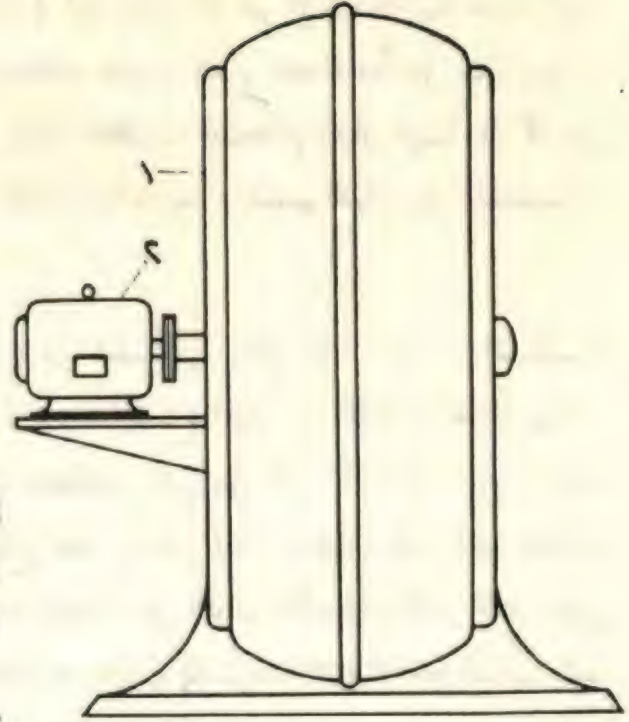
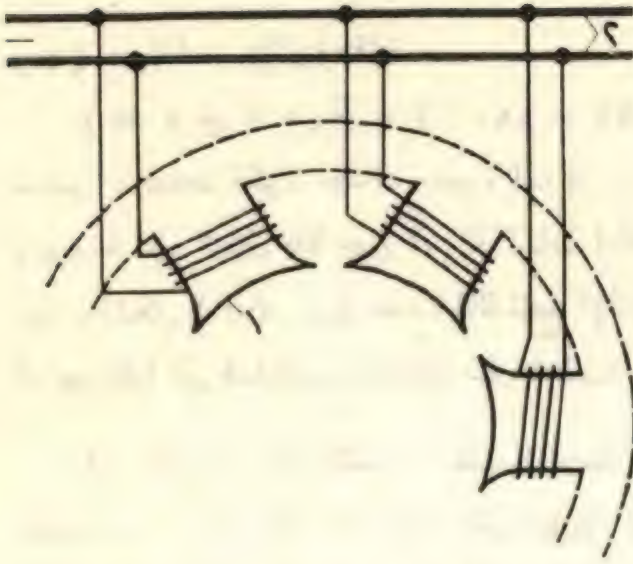
( أ ) مولدات بإثارة منفصلة ،

( ب ) مولدات بإثارة ذاتية تلقائية ،

( ج ) مولدات بإثارة ذاتية .

( أ ) مولدات بإثارة منفصلة :

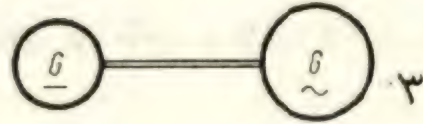
يوضح شكل ( ١ ) الفكرة الأساسية للإثارة المنفصلة ، وتتلخص في توصيل ملفات إثارة مغنطيسات المجال بمصدر منفصل للطاقة لتنفيذها بالتيار اللازم لعملية الإثارة . وقد يكون هذا المصدر بطارية أو دينامو أو أى مصدر للتيار المستمر .



- الشكل ( ١ ) مولد بإثارة منفصلة  
١ - مغنطيسات المجال وحوها ملفات الإثارة  
٢ - مصدر منفصل للطاقة الكهربائية

الشكل ( ٢ ) مولد بإثارة تلقائية

- ١ - المولد الرئيسى  
٢ - مولد تيار مستمر يستخدم لعملية الإثارة فقط  
٣ - رمز تخطيطى لعملية الإثارة التلقائية



(ب) مولدات بإثارة ذاتية تلقائية :

يوضح شكل ( ٢ ) الفكرة الأساسية للإثارة الذاتية التلقائية . وتتلخص في تركيب مولد صغير للتيار المستمر على عمود إدارة المولد الأساسى بحيث يدور المولدان معاً . ويستخدم التيار المستمر الناتج من المولد الصغير لتغذية ملفات الإثارة للمولد الأساسى .



- الشكل ( ٣ ) مولد بإثارة ذاتية  
١ - ملفات المجال موضوعة بالعضو الساكن  
٢ - ملفات العضو الدوار .



### ( ج ) مولدات بإثارة ذاتية :

وجد « فيرنر سيمز » ( ١٨١٦ - ١٨٩٢ ) أنه يمكن أن تتم الإثارة الذاتية لمولد تيار مستمر ، عندما تكون ملفات عضوه الساكن ، وملفات عضوه الدوار متصلة معاً على التوازي ، وموصلة على التوالي بالأجهزة أو التركيبات الكهربائية المطلوب استخدام التيار فيها ، كما هو مبين بالشكل ( ٣ ) . وفي هذه الحالة تنتج الإثارة الذاتية عندما يدور العضو الدوار بين المغنطيسات الكهربائية التي لها قلوب حديدية سبق مغنطتها .

فن المعروف أن القلوب الحديدية تحتفظ بجزء من المغنطيسية يطلق عليها اسم « المغنطيسية المتبقية » . ويتبقى هذا الجزء بعد عملية المغنطة الأولى وبعد انقطاع التيار عن الملفات المحيطة بها . وتفيد هذه المغنطيسية المتبقية بعد ذلك في إيجاد مجال مغنطيسي يكفي على كل حال لكي ينتج بالحث قوة دافعة كهربائية منخفضة في ملفات عضو الإنتاج عند بدء دورانه . وتؤدي هذه القوة الدافعة الكهربائية بدورها إلى مرور تيار في ملفات الإثارة الموصلة على التوالي بالأجهزة ، الأمر الذي تنتج عنه زيادة الفيض ( التدفق ) المغنطيسي لمغنطيسات المجال ، وبالتالي إلى زيادة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة بالحث في عضو الإنتاج . وهكذا يزداد التدفق المغنطيسي تبعاً لزيادة شدة تيار الإثارة إلى أن تصل الدائرة المغنطيسية إلى حالة التشبع . ويطلق على ظاهرة « الإثارة الذاتية » أيضاً اسم « الظاهرة الدينامو كهربية » .

وتتميز المولدات ذات الإثارة الذاتية بأنها أقل أنواع المولدات تكلفة سواء في صناعتها أو صيانتها .

### المولدات ذات القطب الداخلي ، والمولدات ذات القطب الخارجي :

يمكن وضع مغنطيسات المجال للمولدات إما بالعضو الساكن أو العضو الدوار .

وتعرف المولدات بأنها ذات قطب خارجي إذا كانت ملفات الإثارة موجودة بالعضو الساكن . أما إذا كانت ملفات الإثارة موجودة بالعضو الدوار ، فيعرف المولد بأنه ذات قطب داخلي . وأكثر مولدات التيار المتردد ( بما في ذلك المولدات الثلاثية الأطوار ) آلات ذات قطب داخلي . أما مولدات التيار المستمر فهي عادة آلات ذات قطب خارجي ، حيث يستخدم الجزء الدوار في توليد التيار المستمر .

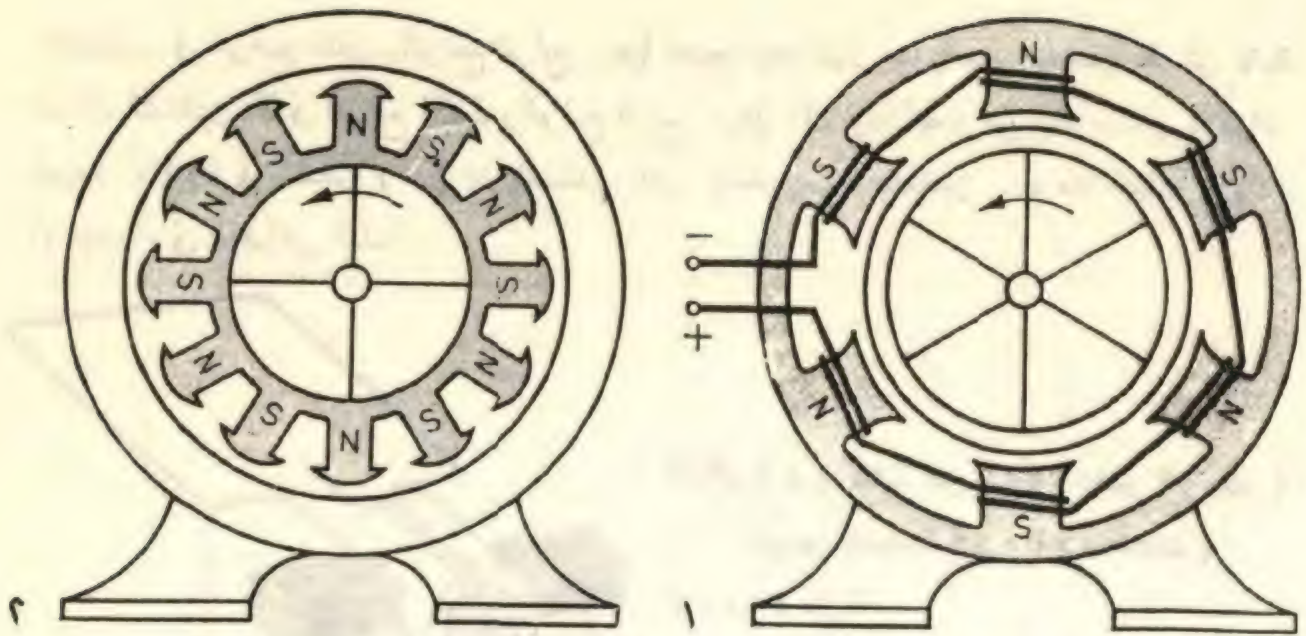
يبين الشكل ( ٤ ) هذين النوعين من المولدات .

وتقسم المولدات عادة من حيث نوع التيار الذي تقوم بتوليده إلى :

أولاً : مولدات التيار المستمر .

ثانياً : مولدات التيار المتردد .





الشكل ( ٤ ) آلات بأقطاب خارجية وآلات بأقطاب داخلية

١ - آلات بأقطاب خارجية .

٢ - آلات بأقطاب داخلية .

أولاً : مولدات التيار المستمر

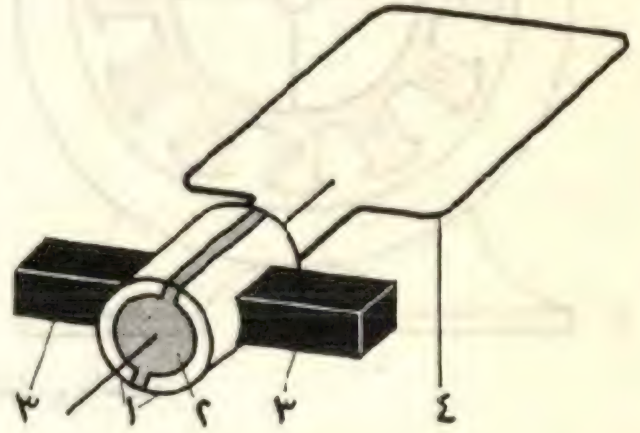
( ٢ ) الغرض من المبدل ( عضو التوحيد ) وكيفية أدائه :

عند شرح نموذج مولد التيار المتردد ( الذى سبق ذكره فى الجزء الأول من كتاب أساسيات الهندسة الكهربائية ) ، بينا أن التيار المتردد الجيبي يمكن الحصول عليه من مولدات التيار المتردد بواسطة فرشتين تنتهيان بأطراف من الكربون تلامسان حلقى انزلاق . وتتصل حلقتا الانزلاق بنهايتى الملف وتدوران معه على نفس المحور . وللحصول على تيار مستمر من هذه المولدات فإنه يستعاض عن حلقتى الانزلاق بمبدل أو موحد للتيار .

ويبين شكل ( ٥ ) الفكرة الأساسية لعملية التوحيد ، حيث يقوم المبدل بتوحيد اتجاه التيار الناتج بالحث فى ملف موصل مقفل للحصول على تيار مستمر . ويتكون المبدل من حلقة مشطورة إلى نصفين معزولين ، أو خوصتين معزولتين يطلق على كل واحدة منهما اسم « شدة » . وتتصل كل شدة منهما بإحدى نهايتى الملف . وينزلق المبدل على فرشتين ثابتتين . وعندما يدور الملف تلامس كل فرشة نصفى الحلقة بالتناوب ، وبذلك يخرج من الفرشتين تيار مستمر يسرى فى اتجاه واحد . ويبين الشكل ( ٦ ) دورة من دورات عضو إنتاج بملف واحد مقفل ومبدل بشدفتين فى أربعة أوضاع ( لحظات ) مختلفة . ومن هذا الشكل يتضح أنه إذا كانت الدائرة الخارجية مقفلة فإن التيار المتولد يمر فى اتجاه واحد فقط . أى عند توصيل أى جهاز بين الطرفين ( ١ ) ، ( ٢ ) فإن التيار يكون له قيمة كبيرة ، ويمر دائماً من النهاية ( ١ ) إلى النهاية ( ٢ ) عندما تكون الفرش



الشدات في الوضع الثاني والوضع الرابع . بينما تصبح قيمة التيار صفراً عندما تلامس الفرش نقطة اتصال الشدتين كما في الوضع الأول والوضع الرابع . وعلى ذلك فإننا نحصل على تيار مستمر بنبضات شديدة كالمبينة في الشكل ( ٧ ) إذا استخدم ملف واحد ومبدل بشدتين . وهذا التيار لا يلائم الاستخدام في الأغراض العامة .



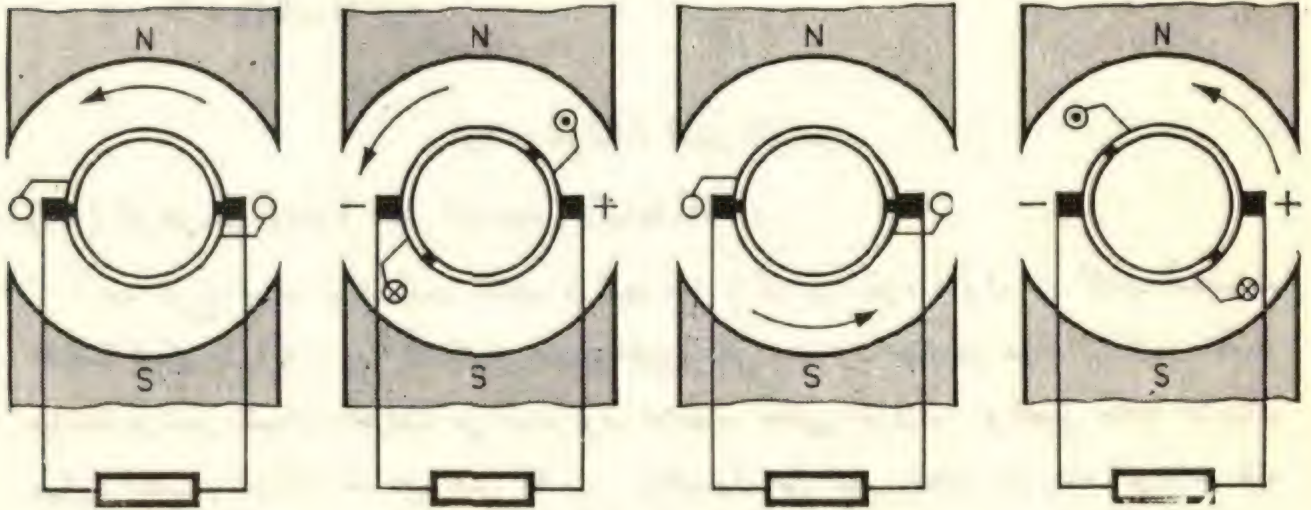
الشكل ( ٥ ) كيفية عمل المبدل ( عضو التوحيد )

١ - الخوص النحاسية المعزولة ( الشدات )

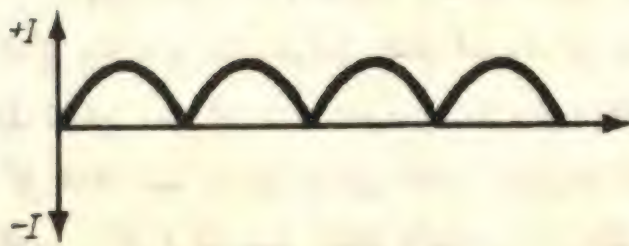
٣ - مواد عازلة

٣ - الفرش

٤ - الملف ( الإطار الموصل )



( شكل ٦ ) توليد التيار المستمر



الشكل ( ٧ ) تيار مستمر نبضي

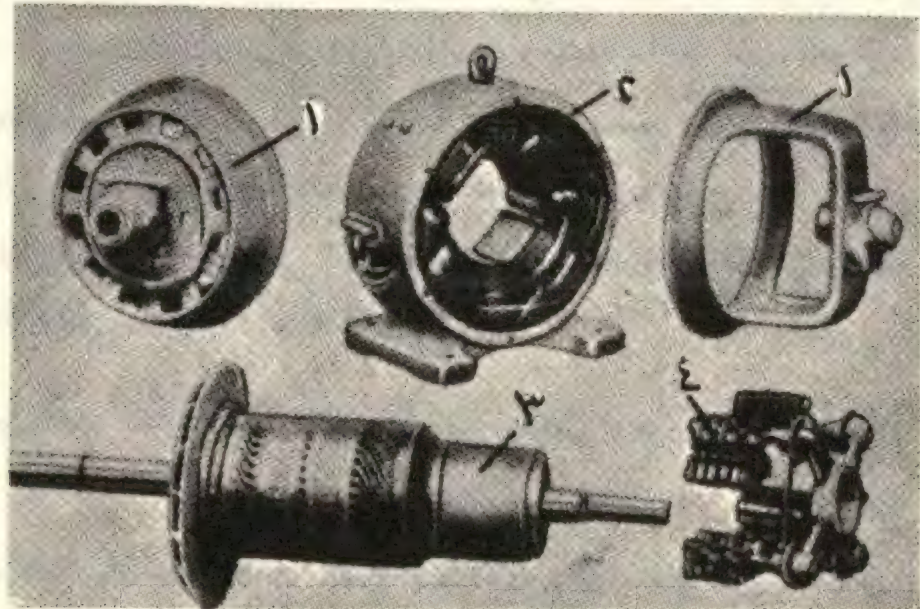
ويمكن الحصول على تيار مستمر منم أملس خال من النبضات ، يصلح للأغراض العامة ، باستخدام مولد له عضو إنتاج به عدة أزواج من الملفات بدلا من ملف واحد . ويستخدم مع عضو الإنتاج في هذه الحالة مبدل مكون من عدد من الشدات ( الخوصات المعزولة ) مساو لعدد الملفات الموجودة في عضو الإنتاج .



#### ( ٤ ) التصميم الميكانيكى لمولد تيار مستمر :

يبين شكل ( ٨ ) مولداً للتيار المستمر . ويتكون عادة من الأجزاء الرئيسية التالية :

- مسندان لكراسى التحميل يرتكز عليهما عمود الإدارة لعضو الإنتاج .
- إطار مثبت بداخله العضو الساكن ومغنطيسات المجال وحولها ملفات الإثارة .
- عضو إنتاج أسطوانى الشكل مصنوع من رقائق من الحديد السليكونى، فيه مجار توضع بداخلها الملفات التى يتولد بها التيار بالحث الكهرمغناطيسى .
- حامل الفرش وبداخله فرش كربونية لتوصيل التيار المتولد إلى الدائرة الخارجية .
- يصنع المسندان عادة من الزهر المسبوك ، ويستخدمان فى تثبيت كراسى التحميل التى يرتكز عليها عمود إدارة عضو الإنتاج . وتفيد كراسى التحميل فى تسهيل دوران عضو الإنتاج مع بقائه متمركزاً مع الإطار ومغنطيسات المجال .
- ويصنع الإطار عادة من الصلب المسبوك . ويستخدم فى حمل مغنطيسات المجال وكراسى التحميل .
- أما عضو الإنتاج فيصنع من رقائق من ألواح الدينامو . وألواح الدينامو عبارة عن سبيكة من الصلب الطرى المحتوى على نسبة من السليكون ، ويغطى سطحها من الخارج مادة عازلة . ويفيد السليكون والمادة العازلة فى الحد من التيارات الدوامية التى تتولد بالحث فى الحديد أثناء الدوران .
- ويزود عضو الإنتاج بمجار يوضع بداخلها الملفات التى يتولد بها التيارات بالحث الكهرمغناطيسى ، كما يزود عضو الإنتاج أيضاً بعمود إدارة لتسهيل دورانه . ويحمل عمود الإدارة المبدل (عضو التوحيد) ، ومروحة تبريد فى بعض الأحيان .



الشكل ( ٨ ) الوحدات التى يتركب منها مولد التيار المستمر  
١ - حامل كراسى التحميل  
٢ - الإطار الرئيسى للمولد وبه مغنطيسات المجال  
٣ - عضو الإنتاج الأسطوانى  
٤ - حامل الفرش



( ٥ ) التيار المستمر المتولد من عضو إنتاج بأربعة ملفات :

سبق أن بينا أن التيار المستمر الذى نحصل عليه من عضو إنتاج أسطوانى بملف وحيد وبمبدل بشدتين فقط هو تيار مستمر بنبضات شديدة . وللحصول على تيار مستمر منعم ( أملس ) به عدد قليل من النبضات ، يستخدم مولد له عضو إنتاج أسطوانى به عدد كبير من الملفات . ويبين الشكل ( ٩ ) عضو إنتاج بأربعة ملفات موصلة على التوالى ، على أن توصل نقطة اتصال طرفى كل ملفين متتالين بإحدى شدات المبدل الأربعة . وعند دوران عضو الإنتاج فى الاتجاه المبين فى الشكل يتولد بالحث فى الملفين ( ١ ، ٢ ) جهد له نفس قيمة الجهد المتولد فى الملفين ( ٣ ، ٤ ) . وحيث أن الملفين ( ١ ، ٢ ) ، ( ٣ ، ٤ ) ، متصلان على التوازي وموصلان بالدائرة الخارجية . فإن جهد المولد الرئيسى يساوى الجهد المتولد فى الملفين ( ١ ، ٢ ) أو ( ٣ ، ٤ ) ، حيث أنهما متساويان .

أما التيار الناتج فى هذه الحالة والمسار فى الدائرة الخارجية فإنه يساوى مجموع التيارين المتولدين فى الملفين ( ١ ، ٢ ) ، ( ٣ ، ٤ ) .

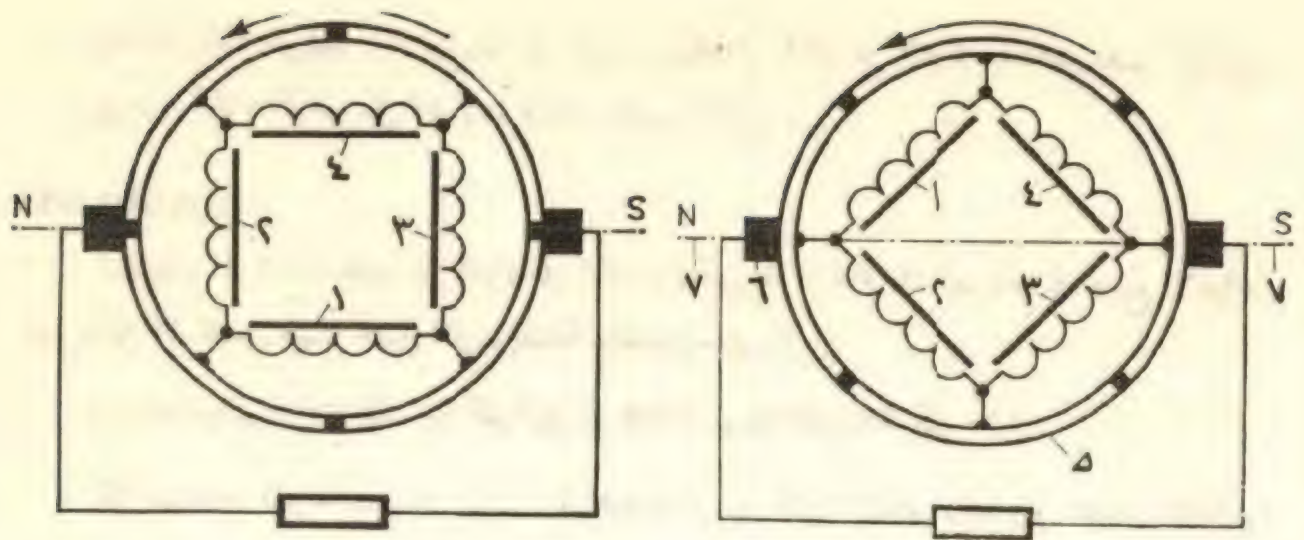
ومن هنا يتضح أن قيمة كل من الجهد والتهار فى أى مولد تعتمد على عدد الملفات المتصلة الموجودة بعضو الإنتاج . فيزيد الجهد بزيادة عدد الملفات المتصلة على التوالى، ويزيد التيار بزيادة عدد الملفات المتصلة على التوازي .

وبين شكل ( ١٠ ) موضع عضو الإنتاج فى اللحظة التى تلامس فيها الفرش الكربونية النقطتين اللتين تفصلان شدتين متجاورتين من شدات المبدل . وعند هذه اللحظة تقوم الفرش، كما هو واضح من الشكل، بعمل قصر دائرة على الملفين ( ٢ ، ٣ ) ، وتصبح الجهود المتولدة بالحث فى الملفين ( ١ ، ٤ ) هى الجهود الفعالة فقط . وعند دوران عضو الإنتاج ٩٠° أخرى تصبح الجهود المتولدة فى الملفين ( ٢ ، ٣ ) هى الجهود الفعالة فقط . وتقوم الفرش فى هذه الحالة الأخيرة بعمل قصر دائرة على الملفين ( ١ ، ٤ ) .

وبذلك نحصل من عضو إنتاج بأربعة ملفات على تيار مستمر له موجة كتلك المبينة فى شكل ( ١١ ) .

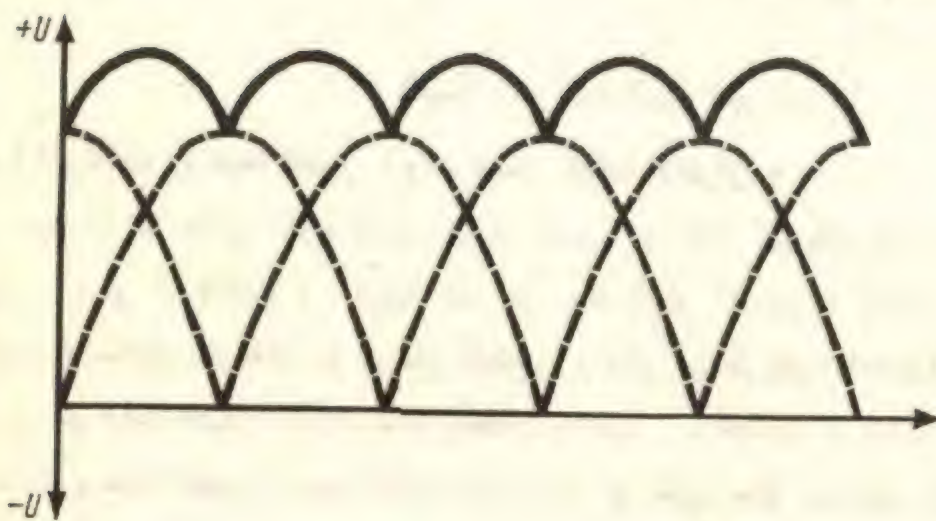
ومنه يتضح أنه كلما زاد عدد الملفات زادت قيمة الجهد والتيار المتولدين بالحث فى المولد . غير أنه لا يمكن زيادة قيمة الجهد المتولد بالحث فى المولد على حد معين ( ٦٠٠٠ فولت ) لتأثر عزل المبدل والملفات بالجهود العالية ، بالإضافة إلى حدوث وميض هابر بين الشدات ، أى وميض يعبر العازل بين الشدات المتجاورة فى المبدل .





الشكل (١٠) وضع عضو الإنتاج الاسطوانى بالنسبة للفرش فى حالة نقص الجهد .

الشكل ( ٩ ) تمثيل تخطيطى لترتيب الملفات الأربعة على عضو الإنتاج الأسطوانى  
( ١ ، ٢ ) ، ( ٣ ، ٤ ) تمثل الملفات الأربعة  
٥ - الخوص المعزولة ( الشدات )  
٦ - الفرش ٧ - المحور المغنطيسى



الشكل (١١) عملية تنعيم التيار المستمر بعد التخلص من التموجات .

- ( ٦ ) تصنيف المولدات تبعاً لكيفية توصيل ملفات المجال بملفات عضو الإنتاج :
- تقسم مولدات التيار المستمر ، تبعاً لكيفية توصيل ملفات مغنطيسات المجال بملفات عضو الإنتاج ، إلى الأنواع الأساسية التالية :
- مولدات بلف على التوالى : وفيها توصل ملفات المجال على التوالى بملفات عضو الإنتاج .
  - مولدات بلف على التوازي : وفيها توصل ملفات المجال على التوازي بملفات عضو الإنتاج .



- مولدات بلف مركب : وفيها يوصل جزء من ملفات المجال على التوالي بملفات عضو الإنتاج ، ويوصل الجزء الآخر على التوازي بملفات عضو الإنتاج .

#### الاستخدامات :

تستخدم المولدات بلف على التوالي في الطلاء بالكهرباء والحمام بالكهرباء وفي جميع الأغراض التي يمكن أن تضمن فيها تحميل المولد بصفة منتظمة ومستمرة .

وتستخدم المولدات بلف على التوازي في محطات توليد القدرة الكهربائية .

كما تستخدم المولدات بلف مركب في محطات توليد القدرة الكهربائية وفي المحطات الكبيرة بتشغيل متقطع . وتبين الأشكال (١٢) ، (١٣) ، (١٤) ، الرسوم التخطيطية لدوائر المولدات بلف على التوازي ، والمولدات بلف على التوالي ، والمولدات بلف مركب ، على الترتيب .

وقد توصل مولدات التيار المستمر مع بعضها البعض على التوالي للحصول على نظام تيار مستمر ثلاثي الأسلاك كما هو مبين بالشكل (١٥) . ويفيد مثل هذا النظام في إمكان الحصول على جهدين مختلفين بين خطوطه مثل ١١٠/٢٢٠ فلت أو ٢٢٠/٤٤٠ فلت . ويكون الجهد بين أى موصل من الموصلين الخارجيين وبين موصل التعادل مساوياً لنصف الجهد بين الموصلين الخارجيين .

#### ثانياً : مولدات التيار المتردد

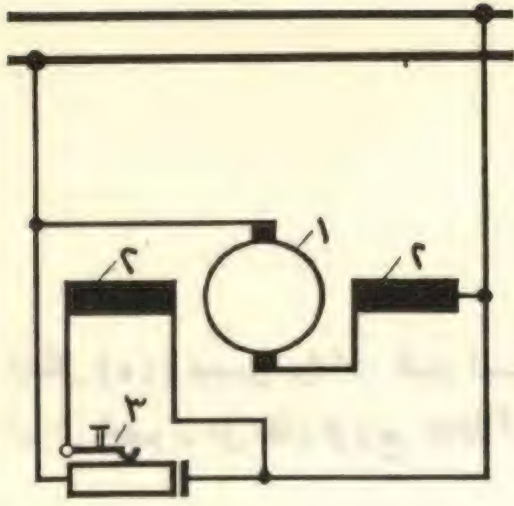
##### (٧) المولدات وحيدة الطور ، والمولدات ثلاثية الأطوار :

سبق أن شرحنا في الجزء الأول كيفية الحصول على طاقة كهربائية بتيار متردد باستخدام مولد بسيط - وهو لا يختلف في كيفية عمله عن مولد التيار المستمر ، استبدل فيه بعضو التوحيد ( المبدل ) حلقتان تزلزان على فرشتين ثابتتين ، ويمكن عن طريقتهما الحصول على التيار المتردد . وتصنع مولدات التيار المتردد عادة بأقطاب داخلية . وتختلف المولدات الثلاثية الأطوار عن المولدات وحيدة الطور بوجود ثلاثة ملفات بين كل قطبين بدلاً من ملف واحد . ويبين الشكل (١٦) رسماً تخطيطياً للمقارنة بين هذين النوعين من المولدات .

وتستخدم مولدات التيار المتردد في الجر الكهربائي بتردد قدره  $١٦\frac{2}{3}$  ذبذبة/ثانية . كما تستخدم أيضاً في توليد الطاقة الكهربائية بجهد يصل إلى ٦٠٠٠ فلت تقريباً . وقد تصنع مولدات لتوليد طاقة بجهد أكبر من ذلك على ألا يتعدى ( ١٥٠٠٠ ) فلت ، حيث أن ذلك يؤدي إلى الكثير من الصعوبات الخاصة بالعزل اللازم للملفات في الجهود العالية .

ويمثل الشكل (١٧) رسماً تخطيطياً لوضع الملفات في مجارى عضو الإنتاج . ومن الممكن ترتيب الملفات بعدة طرق أخرى من حيث خطوات اللف أو الشكل أو طرق التوصيل . . إلخ .





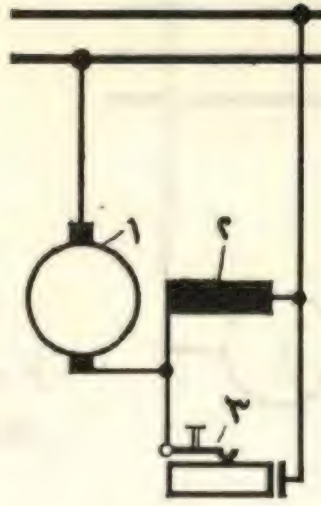
الشكل (١٤) مولد بملف مركب :

- ١ - العضو الدوار ( عضو الإنتاج )
- ٢ - العضو الساكن (ملفات المجال)
- ٣ - ريوستات المجال .

طريقة ترتيب الدوائر :  
يوصل جزء من ملفات المجال بملفات عضو الإنتاج - ويوصل الجزء الآخر على التوازي بها .  
حالة الجهد المتولد تحت ظروف التشغيل المختلفة :  
لا تعتمد قيمة الجهد المتولد عمليا على ظروف التشغيل المختلفة .

كما يمكن ضبط قيمة الجهد المتولد لتبقى ثابتة عمليا بواسطة ريوستات المجال .  
الاستخدامات :

تستخدم في محطات توليد القدرة - وفي المصانع التي يمكن التحميل بها متقطعا .



الشكل (١٣) مولد

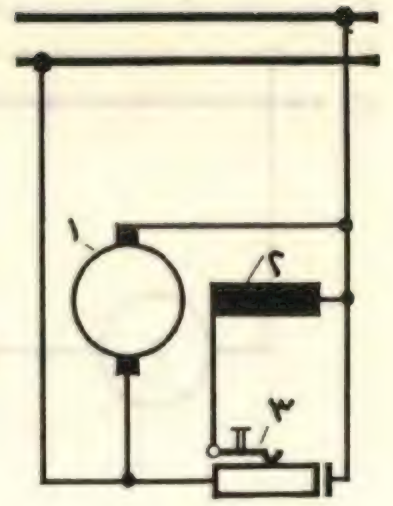
- يلف على التوالي :
- ١ - العضو الدوار ( عضو الإنتاج )
- ٢ - العضو الساكن ( وفيه ملفات المجال ) .
- ٣ - ريوستات المجال .

طريقة ترتيب الدوائر :  
توصل ملفات عضو الإنتاج على التوالي بملفات المجال .  
حالة الجهد المتولد تحت ظروف التشغيل المختلفة :  
في حالة التشغيل بدون حمل : لا يتولد أى جهد يذكر .

في حالة التشغيل بالحمل : يزيد الجهد بسرعة كلما زاد الحمل .  
الاستخدامات :

يستخدم كمولد مستقل يراعى تحميله بصفة مستمرة ومنظمة .

يستخدم في عمليات الطلاء بالكهرباء أو في عمليات الإضاءة المنتظمة أو في وحدات اللحام الكهربائي .



الشكل (١٢) مولد

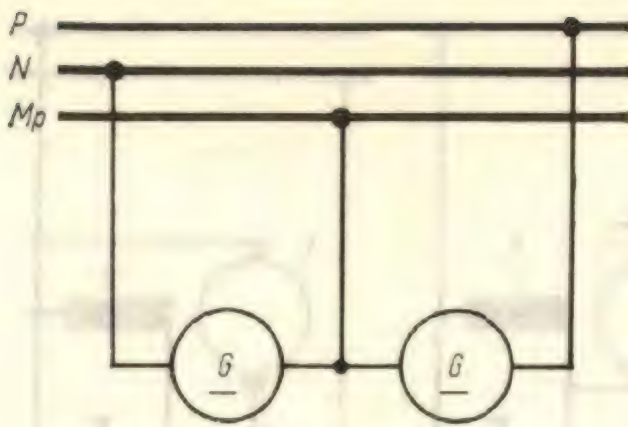
- يلف على التوازي :
- ١ - العضو الدوار ( عضو الإنتاج )
- ٢ - العضو الساكن (ملفات المجال)
- ٣ - ريوستات المجال

طريقة ترتيب الدوائر :  
توصل ملفات العضو الدوار على التوازي مع ملفات المجال .  
حالة الجهد المتولد تحت ظروف التشغيل المختلفة :  
في حالة التشغيل بدون حمل : يتولد الجهد بقيمته القصوى

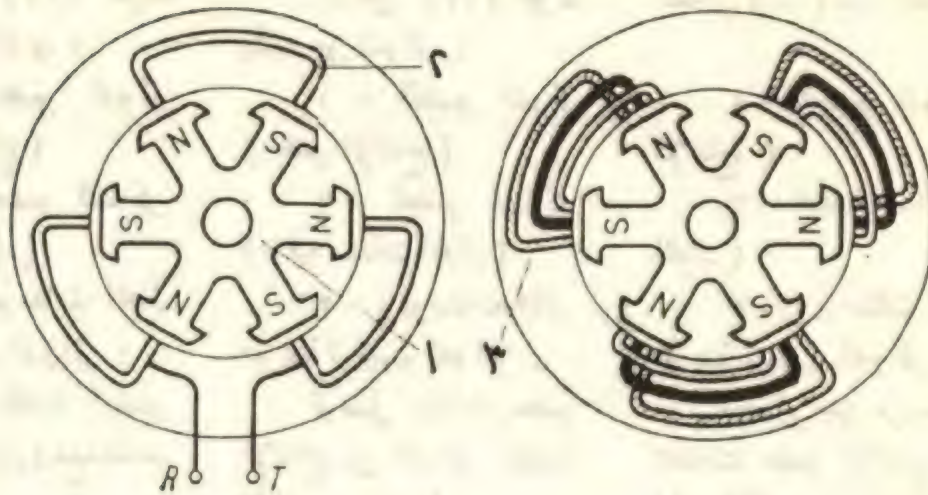
في حالة التشغيل بحمل : ينخفض الجهد انخفاضاً طفيفاً  
الاستخدامات :

يستخدم في محطات توليد القدرة الكهربائية

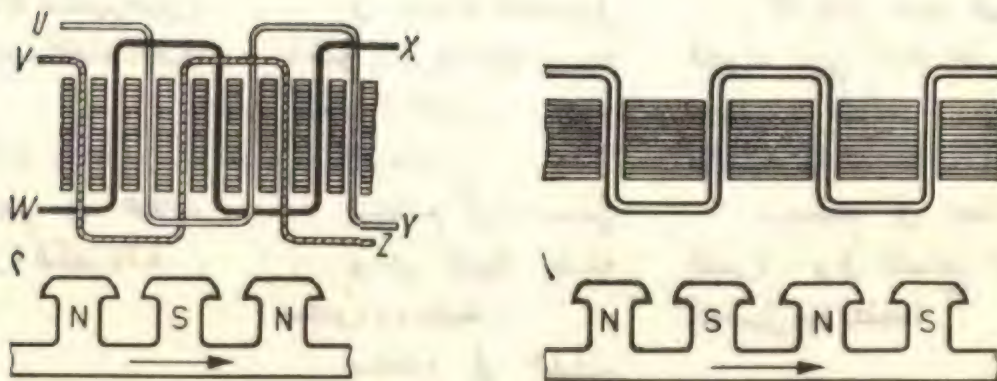




الشكل (١٥) توصيل مولدات التيار المستمر على التوالي للحصول على نظام توزيع بثلاثة أسلاك .

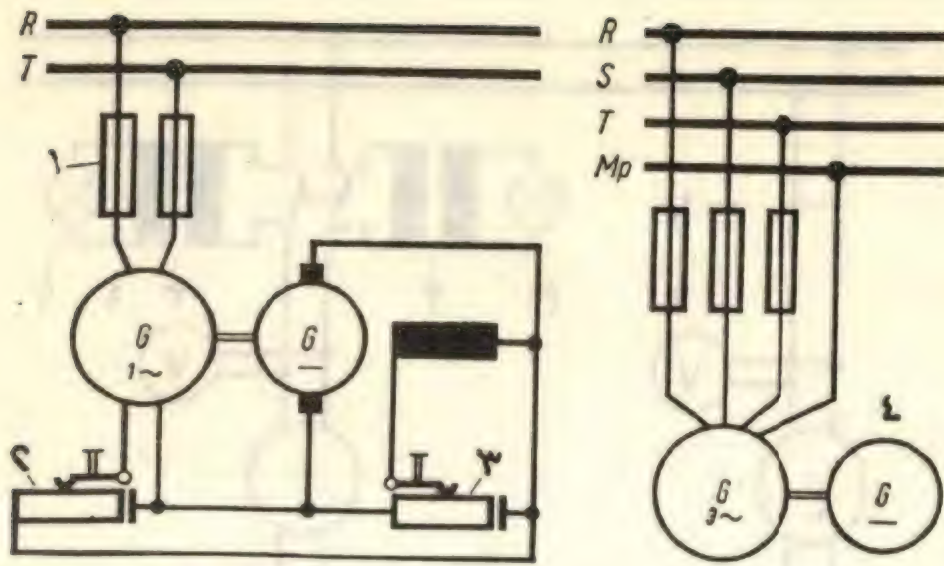


الشكل (١٦) ملفات المولد وحيد الطور والمولد الثلاثي الأطوار  
 ١ - مغنطيسات المجال .  
 ٢ - ملفات مولد وحيد الطور .  
 ٣ - ملفات مولد ثلاثي الأطوار .



الشكل (١٧) ترتيب الملفات في المولدات وحيدة الطور والمولدات ثلاثية الأطوار :  
 ١ - ترتيب الملفات لمولدات وحيدة الطور  
 ٢ - ترتيب الملفات لمولدات ثلاثية الأطوار





شكل ١٨ : رسم تخطيطي لدائرتين تمثلان أهم النظم المتبعة في تنظيم جهد المولدات الموصلة بشبكات التغذية وبالأحمال .

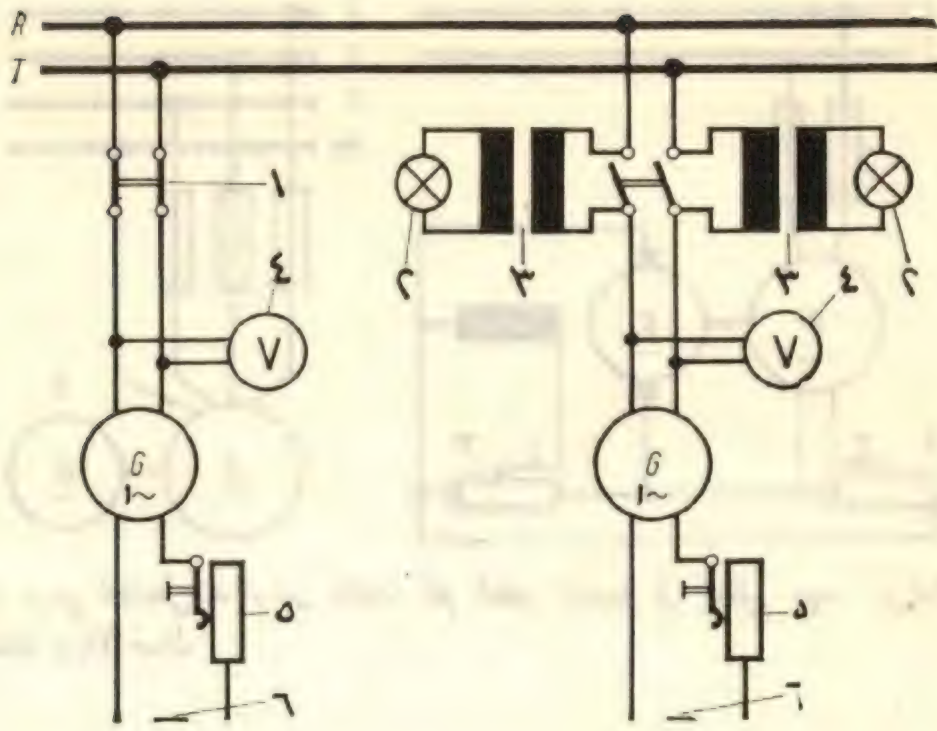
ويمثل الشكل (١٨) رسماً تخطيطياً لدائرتين تمثلان أهم النظم الأساسية المتبعة في تنظيم جهد المولدات الموصلة بشبكات التغذية وبالأحمال . ومنه يظهر كيفية تنظيم الجهد الناتج من المولد الرئيسي باستخدام المقاومتين (٢) ، (٣) . حيث توصل إحداها (٣) بدائرة ملفات الإثارة للمولد الرئيسي ( مولد التيار المتردد ) ، بينما توصل المقاومة الأخرى (٣) بدائرة مولد التيار المستمر ( المولد الصغير ) ، الذى يغذى ملفات مغنطيسات المجال بتيار الإثارة اللازم . وبواسطة هاتين المقاومتين يمكن زيادة تيار شدة الإثارة للمولد الرئيسي إذا انخفض جهد المولد عن جهد المنبع ، أى يمكن بواسطتهما تنظيم جهد المولد ليبقى ثابتاً داخل حدود معينة .

#### (٨) توصيل مولدات التيار المتردد على التوازي :

تزود غالبية محطات توليد الكهرباء بعدد كبير من المولدات ، قد توصل جميعها بالشبكة أو يفصل جزء منها في أوقات معينة ، بينما يوصل جزء آخر من هذه المولدات في أوقات الذروة ، وذلك تبعاً للقدرة المطلوبة ( الحمل المطلوب ) . وتوصيل المولدات يعنى توصيل مولد أو أكثر على التوازي بمولد أو أكثر قائم بالعمل فعلاً ، أى موصل بالشبكة ، ولا يتم ذلك إلا إذا توفرت الشروط الآتية للمولدين لحظة التوصيل :

- ١ - أن يكون لهما نفس الجهد المقنن .
- ٢ - أن يكون لهما نفس التردد المقنن .
- ٣ - أن يكون لهما نفس الطور لحظة توصيلهما معاً ( يتحدان في تتابع الأطوار ) .





شكل ١٩ : رسم تخطيطي لدائرة يبين كيفية توصيل مولدين بطور وحيد على التوازي .

ويطلق المصطلح « التزامن » على عملية توصيل المولدات لتعمل على التوازي إذا استوفت الشروط السابقة .

#### ( ٩ ) كيفية القيام بعملية التزامن :

يبين الشكل (١٩) رسماً تخطيطياً لدائرة تبين كيفية القيام بعملية التوصيل على التوازي لمولدين بطور وحيد . وقد حذفت دوائر الإثارة من الشكل لتسهيل التمثيل التخطيطي للدائرة .  
 لنفرض أن المولد الموجود في الجهة اليسرى قائم بالعمل فعلاً وموصل بقضبان التوزيع ، وأن المولد بالجهة اليمنى هو المولد المطلوب توصيله على التوازي . تحدث عملية التزامن بإدارة المولد الموجود بالجهة اليمنى ، وضبط جهده بواسطة ريوستات المجال حتى يتساوى تماماً مع قيمة جهد المولد الموجود بالجهة اليسرى . ويتم التأكد من تطابق الأطوار وتساوى الجهد والتردد للمولدين بواسطة مصابيح يطلق عليها اسم مصابيح التزامن أو مصابيح الطور ، وهناك طريقتان لاختيار اللحظة المناسبة لتوصيل المولدين وإتمام عملية التزامن باستخدام :

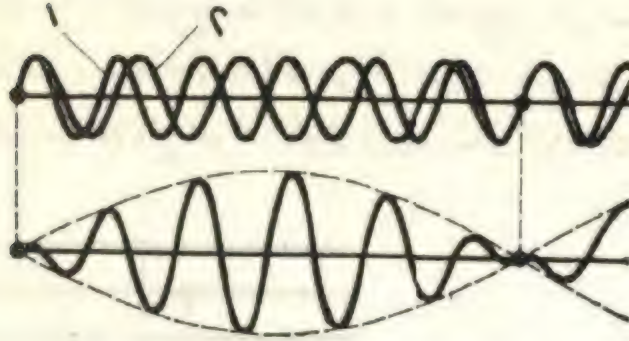
( أ ) مصابيح مطفأة .

( ب ) مصابيح مطفأة وأخرى مضاءة .



# (أ) استخدام مصابيح مطفأة لعملية التزامن :

يوصل المصباحان على التوازي بملا مسات مفتاح السكينة المزدوج الذى يقوم بتوصيل المولد الموجود بالجهة اليمنى مع المولد القائم بالعمل كما هو مبين بالشكل . وعندما يتساوى جهد وتردد كل من المولدين ويتحدان فى الطور فإن مصباحى التزامن يظلا مطفأين ، وفى هذه اللحظة يمكن توصيل المولدين معاً على التوازي .

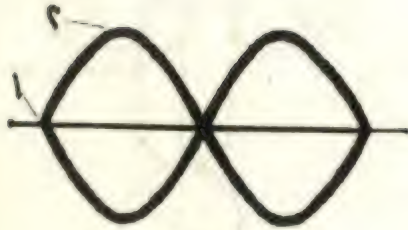


شكل ٢٠ :

رسم تخطيطى لجهدين مختلفين لمولدين

١ - التردد ف١

٢ - التردد ف٢



شكل ٢١ : جمع جهدين مختلفين لمولدين

١ - الجهد صفر ٢ - الجهد له قيمة قصوى

ولشرح أساس عملية التزامن بهذه الطريقة يمكن أن نرجع إلى الشكلين (٢٠) ، (٢١) ، حيث يبين الشكل (٢٠) رسماً تخطيطياً لجهدين مختلفين لمولدين تردد أحدهما ف١ وتردد الآخر ف٢ . وبجمع الجهدين فى أى لحظة من هذه الفترة الزمنية ، فإننا نحصل عن جهد الرنين المبين فى شكل (٢١) . ومن الشكل يتضح أن جهد الرنين الناتج من عدم تساوى الجهدين يؤدي إلى إضاءة مصابيح التزامن فى الوضع (٢) عندما يكون جهد الرنين أكبر ما يمكن ، وأنها تنطفئ عندما يكون صفرأ ، أى عند الوضع (١) . وعلى ذلك فإن اختلاف التردد يؤدي إلى توهج المصباحين عند الوضع (١) وانطفائهما عند الوضع (٢) بصفة دورية . كما أن اختلاف قيمة الجهد فى كل من المولدين أو عدم اتحادهما فى الطور يؤدي أيضاً إلى توهج المصباحين .

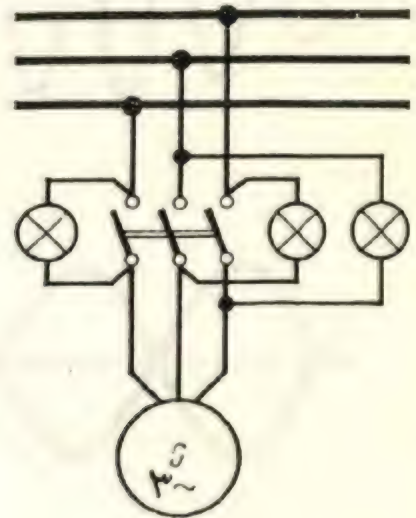
وللحصول على التزامن المطلوب بين المولدين يتم تغيير سرعة المولد الثانى حتى يتساوى جهد وتردد المولدين ويتحدان فى الطور ، وفى هذه اللحظة يستمر مصباحا التزامن مطفأين ، وعندئذ يمكن توصيل المولد الثانى على التوازي بالمولد الأول .

وبنفس الطريقة يمكن تشغيل مولد ثلاثى الأطوار على التوازي مع مولد ثلاثى الأطوار قائم بالعمل فعلاً باستخدام ثلاثة مصابيح تزامن ( مصباح لكل طور ) .



(ب) باستخدام مصابيح مطفأة وأخرى مضاء لعملية التزامن :  
هناك طريقة أخرى للتأكد من تزامن المولدات ثلاثية الأطوار وتوصيلها على التوازي بالشبكة باستخدام مصابيح مضاءة وأخرى مطفأة كما هو مبين بالشكل (٢٢) .

وفي هذه الحالة يمكن التأكد من تزامن المولدين إذا كانت المصابيح الموصلة على التوازي بملامسات المصباح مطفأة وكانت المصابيح الموصلة على التناطع مضاءة . وللاستفادة من عملية التزامن ، فإنه يجب التأكد من أن المولد الجديد الموصل على التوازي يتحمل جزءاً من الحمل ، وذلك بإنقاص قوة دفع المولد الأول وزيادتها في المولد الثاني .



شكل (٢٢) كيفية توصيل المصابيح المضاءة والمصابيح المطفأة في عملية التزامن

#### (١٠) محطات توليد القدرة الكهربائية :

تولد الطاقة الكهربائية في محطات توليد القدرة الكهربائية بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية باستخدام المولدات السابق شرحها . وتصنف محطات توليد القدرة الكهربائية تبعاً لعدة أسس مختلفة .

وفيما يلي قائمة بأكثر التصنيفات شيوعاً :

#### ١ - تصنيف المحطات تبعاً لمصادر الطاقة الأولية التي تدفع المحركات الأولية :

من المعروف أن المولدات الموجودة بمحطات توليد القدرة الكهربائية تدار بواسطة محركات أولية تدفع بمصادر طاقة من أنواع مختلفة. وتقسم المحطات في كثير من الأحيان تبعاً لنوع الطاقة التي تقوم بدفع المحرك الأولي إلى :

#### ( أ ) المحطات الحرارية :

وهي المحطات التي يدار فيها المحرك الأولي باستخدام الطاقة الناتجة من احتراق الوقود ( فحم ، غاز ، بنزين . . . إلخ ) .

## (ب) المحطات الهيدروليكية :

وهي المحطات التي يدار فيها المحرك الأولي بواسطة الطاقة الناتجة من اختلاف منسوبي المياه في مكان ما من أى مجرى ، مائى من مجرى النهر مثلا .

## (ج) المحطات الهوائية :

وهي المحطات التي يدار فيها المحرك الأولي باستخدام تيار الهواء المناسب ( لدفع طواحين الهواء ) .

## ٢ - تصنيف محطات توليد القدرة الكهربائية تبعا لنوع الخدمة :

سبق أن بينا أنه يوجد بمحطات توليد القدرة الكهربائية مولدات تعمل بصفة مستمرة ، وأخرى تعمل في أوقات الذروة فقط ، أى تعمل على التوازي لتشارك في القيام بجزء من الحمل الزائد في أوقات الذروة ، ونضيف هنا أن هناك محطات بأكملها تعمل فقط في أوقات الذروة ، أو عند زيادة الحمل ، أو في أوقات معينة من السنة . ولذلك تصنف محطات توليد القدرة بالنسبة لنوع الخدمة إلى :

### ( أ ) محطات خدمة مستمرة :

وهي التي تعمل على حمل أساسى ثابت بصفة مستمرة .

### (ب) محطات خدمة مؤقتة :

وهي المحطات التي تعمل وتوصل بصفة إضافية بالشبكة العامة أثناء فترات الذروة ، أو زيادة الحمل ، أو في أوقات معينة من السنة .



## الباب الثانى

### توليد الطاقة الكهربائية بالطرق الكيميائية ( البطاريات )

#### ( ١١ ) الخلايا الجلفثانية ( الأعمدة البسيطة ) :

بيننا فيما سبق كيف تولد الطاقة الكهربائية بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية فى محطات الطاقة الكهربائية . وهناك طريقة أخرى لتوليد الطاقة الكهربائية بتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية . وبالرغم من أن كمية الطاقة الكهربائية التى يمكن الحصول عليها بهذه الطريقة الأخيرة أقل بكثير من كمية الطاقة الكهربائية التى يمكن الحصول عليها نتيجة لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، إلا أن طرق التوليد الكهركيميائى تعتبر ذات أهمية كبيرة جداً . ويطلق على وسائل تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية اسم « الخلايا الجلفثانية » .

وتتكون الخلية الجلفثانية من معدنين مختلفين ( أحدهما من البلاتين والآخر من الألومنيوم مثلاً ) مغمورين فى سائل إلكترولى له موصلية كهربائية معينة . وعند توصيل فلطمر بين نهائى القضيبين الظاهرين فوق مستوى الالكتروليت فإنه يكشف عن وجود فرق فى الجهد بين القضيبين . أى أن هناك قوة دافعة كهربائية متولدة نتيجة للتفاعلات الكيميائية فى الخلية .

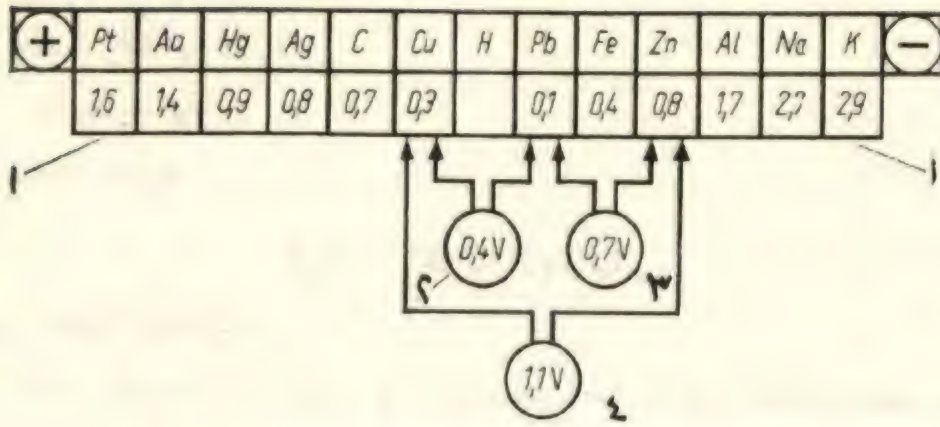
والسوائل الموصلة كهربائياً تسمى الالكتروليتات ، وأكثر هذه السوائل ذات طبيعة حمضية مثل حمض الكبريتيك المخفف بالماء . كما توجد أيضاً إلكتروليتات ذات طبيعة قلوية ، مثل هيدروكسيد البوتاسيوم وهيدروكسيد الصوديوم .

#### ( ١٢ ) المتواليات الكهركيميائية :

أجريت عدة اختبارات على الكثير من المعادن لمعرفة مقدار القوة الدافعة الكهربائية ( واختصارها ق.د.ك ) التى يمكن أن تتولد عند غمس معدنين أو أكثر من الالكتروليت . وقد رتبت المعادن فى جداول تبعاً لنتائج هذه الاختبارات، أى طبقاً لكمية ق.د.ك بالفلفط الناتجة بين كل عنصر أو معدن من هذه المعادن وبين الهيدروجين ( العنصر غير الموصل الذى اتخذ كأساس مرجعى لعمليات المقارنة ) .

وقد ميزت وحدات ق.د.ك بالفلفط، أى بنظام المتر - الكيلوجرام - الثانية، لسهولة المقارنة . وهذا الترتيب الموضح بالجدول يعرف باسم « المتواليات الكهركيميائية » .





الشكل (٢٣) المتوالية الكهر كيميائية .

- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| رصاص ( ر )      | بلاتين ( بلا )  |
| حديد ( ح )      | ذهب ( ذ )       |
| زنك ( خ )       | زئبق ( ع )      |
| ألومنيوم ( لو ) | فضة ( ف )       |
| صوديوم ( ص )    | كربون ( ك )     |
| بوتاسيوم ( بو ) | هيدروجين ( يد ) |
- ١ - الجهد الأيونى للخلية  
٢ - جهد الخلية نحاس - رصاص = ٠,٤ فلط  
٣ - جهد الخلية رصاص - زنك = ٠,٧ فلط  
٤ - جهد الخلية نحاس - زنك = ١,١ فلط

وبين شكل (٢٣) المتوالية الكهر كيميائية . وفي مركز الجدول نجد العنصر غير الموصل وهو الهيدروجين ، ( ورمزه الكيميائى « يد » ) وهو أساس المقارنة ، حيث أنه يقع بين العناصر الموجبة الشحنة والسالبة الشحنة .

ونجد على يسار الهيدروجين ، المعادن والكربون ( ك ) التى لها شحنة موجبة ، وعلى يمين الهيدروجين نجد المعادن ذات الشحنة السالبة . ولاستخدام الجدول لمعرفة جهد الخلايا الجلفائية إذا ما عرفت العناصر المستخدمة فيها ، يجب مراعاة الآتى :

الخلايا الجلفائية المصنوعة من عناصر لها نفس نوع الشحنة ( مثال ++ أو - ) يمكن معرفة جهد الكلى بطرح جهد أحد المعدنين من جهد المعدن الآخر . فالجهد الكلى للخلية التى استخدم فيها العنصران الرصاص والزنك يساوى ( ٠,١ - ٠,٨ = ٠,٧ فلط ) . أما الخلايا الجلفائية التى تتكون من عناصر لكل عنصر منها شحنته التى تختلف عن شحنة العنصر الآخر ، فإنه يمكن معرفة جهد الكلى بجمع جهدى المعدنين المستخدمين فى الخلية . وعلى ذلك فإن الجهد الكلى لخلية استعمل فيها عنصرا النحاس والزنك هو ( ٠,٣ فلط + ٠,٨ فلط = ١,١ فلط ) .



وتنقسم الخلايا الجلفانية إلى :

أولا : خلايا ابتدائية .

ثانيا : خلايا ثانوية .

### أولا : الخلايا الابتدائية

#### (١٣) تكوين الخلايا الابتدائية :

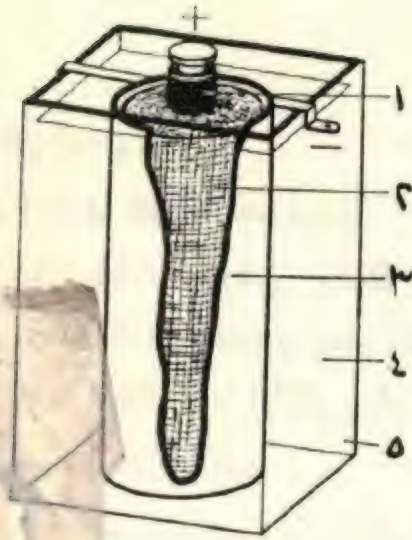
تتكون الخلايا الابتدائية من قطبين ( الكترودين ) من مادتين مختلفتين ، مغمرين في سائل الكتروليتي يتفاعل مع أحدهما أسرع من الآخر ، وينشأ عن ذلك تولد قوة دافعة كهربائية يمكن قياسها بواسطة فلطمتر يركب بين طرفي القطبين . وعند توصيل القطبين من الخارج ، يمر تيار كهربائي في الدائرة في اتجاه معين من أحد القطبين للآخر . وبمرور التيار تتحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية . ولا يحدث في الخلايا الابتدائية أى تفاعل كيميائي عكسي ، أى أن هذه الخلايا لا تعود إلى حالتها التي كانت عليها قبل التفاعل إذا ما عكس اتجاه التيار فيها كما هي الحال في البطاريات الثانوية .

#### (١٤) الاستقطاب :

عند غمر قضيبين من معدنين مختلفين في الكتروليت بنفس الكيفية التي شرحناها فيما سبق ، فإنه يظهر عبر نهايتي القضيبين جهد يمكن قياسه ، وبعد زمن قصير نسبيا ، يبدأ هذا الجهد في الانخفاض تدريجيا حتى يصل إلى الصفر تقريبا . وعند رفع القضيبين من الكتروليت بعد ذلك نجد أنهما مغطيان بطبقة رقيقة من مادة ما . وتنتج هذه المادة من التفاعلات الكيميائية التي تحدث بين القضيبين والإلكتروليت . وبعد تنظيف القضيبين تنظيفا تاما ووضعهما مرة ثانية في الإلكتروليت فإنهما يعطيان نفس الجهد السابق ، إلا أن هذا الجهد يبدأ في الانخفاض مرة ثانية حتى يصل إلى الصفر تقريبا ، وهكذا . وهذه العملية التي تؤدي إلى تغطية القضيبين بهذه المادة والتي تؤدي إلى استمرار انخفاض الجهد ، تسمى « عملية الاستقطاب » . أما عملية تنظيف القضيبين ، سواء تمت بطريقة ميكانيكية أو كيميائية فتسمى عملية إزالة الاستقطاب . ويوضح شكل (٢٤) رسما تخطيطيا لخلية « لا كلانشيه » وهي خلية زنك - كربون قطبها الموجب عبارة عن قضيب من الكربون يحيط به مسحوق من ثاني أكسيد المنجنيز داخل غلاف به ثقوب ، وقطبها السالب عبارة عن وعاء من الزنك . وتتميز هذه الخلية بأن جهدها ثابت لا يتناقص إلى الصفر بسرعة حيث أن وجود ثاني أكسيد المنجنيز حول قضيب الزنك يؤدي إلى تنظيف قضيب الزنك بطريقة كيميائية ، وإلى منع الاستقطاب الذي ينتج عنه الانخفاض الذي يحدث في جهد الخلية .

ولشرح عملية الاستقطاب وكيفية منعه أو إزالته بطريقة كيميائية فإننا نشرح أولا « ظاهرة التأين » ، أى ظاهرة تكوين الأيونات ، وكذلك ظاهرة « التحليل الكهربائي » ، وهي الظاهرة المتعلقة بالتوصيل الكهربائي للتيار في المحاليل .





الشكل (٢٤) تصميم خلية زنك - كربود

- ١ - قضيب من الكربون
- ٢ - حقيبة بها ثاني أكسيد المنجنيز
- ٣ - وعاء أسطوانى من الزنك
- ٤ - محلول إلكترولى من كلورور الأمونيوم
- ٥ - وعاء من الزجاج

وفى هذا الصدد يمكن الرجوع إلى الجزء الأول لنعرف طبيعة الذرة المتعادلة وكيفية انفصال الشحنات وتعادلها وتكوين الأيونات باستخدام نموذج من ذرة الصوديوم .

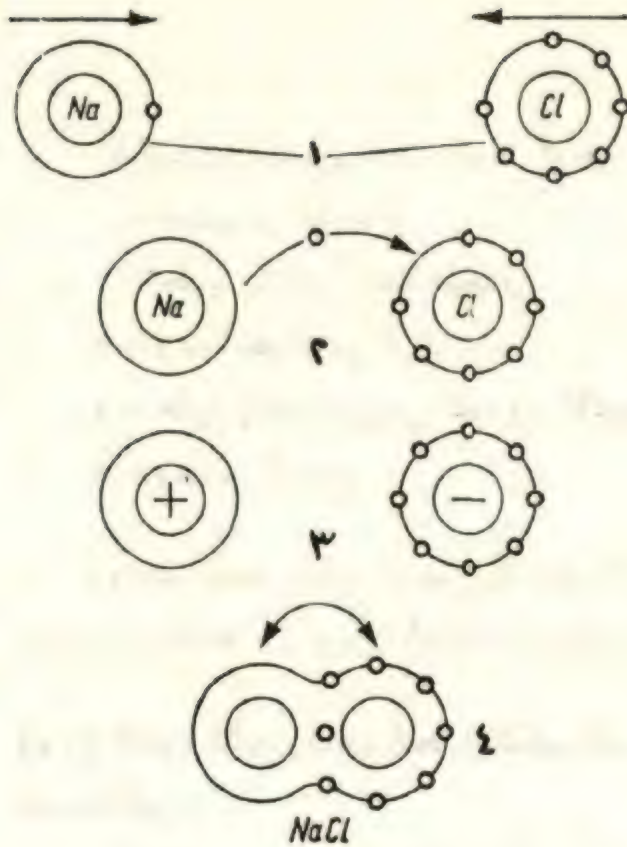
#### (١٥) ظاهرة التأين وظاهرة التحليل الكهربائى :

##### ظاهرة التأين :

يمكن توضيح ظاهرة اكتساب أو إعطاء الكترونات ، والتي يطلق عليها ظاهرة التأين باستخدام محلول ملح الطعام . يتكون ملح طعام من الصوديوم (ص) والكلور (كل) ، وهذا المركب يسمى كلوريد الصوديوم . ويوضح شكل (٢٥) (١) ) الإلكترونات الموجودة فى المدارات الخارجية لكل من ذرة الصوديوم وذرة الكلور . فى الحالة (١) تكون الذرتان متعادلتين كهربائيا ، فإذا كانت المسافة بين الذرتين صغيرة فإن الإلكترون الوحيد الموجود فى المدار الخارجى لذرة الصوديوم ينتقل إلى المدار الخارجى لذرة الكلور ، كما فى شكل (٢٥) (٢) . وهذه العملية تؤدى إلى تغيير الحالة الكهربائية لكلا الذرتين ويصبح جسيم الصوديوم موجب الشحنة ، بينما يصبح جسيم الكلور سالب الشحنة ، انظر شكل (٢٥) (٣) . وتعرض الذرتان السابقتان - نتيجة لوجود شحنة كهربائية فى إحداها مضادة لشحنة الأخرى - لقوى تجاذب كهربائى متبادل يؤدى إلى تجميعهما فى جزئى ملح الطعام (ص كل) . هذا الاتحاد الكيميائى مشابه لكثير من عمليات الاتحاد الكيميائى المماثلة ، وتسمى هذه الظاهرة « الرابطة الكيميائية الكهربائى » ، فإذا أضيف ملح الطعام إلى الماء فإن هذا الملح يذوب فيه مكونا محلولاً موصلًا للكهرباء .

وبالرغم من أن الماء المقطر النقى له مقاومة نوعية عالية (بين ٣١٠ ، ٥١٠ أوم / م) وهذا يعنى أن الماء النقى ليس موصلًا للتيار الكهربائى - إلا أن التوصيل الكهربائى للمحلول يرجع إلى تحلل جزئيات الملح إلى جسيمات « موجبة » من الصوديوم وجسيمات سالبة من الكلور . وتسمى هذه الظاهرة باسم « التأين » . ويوضح الشكل (٢٥) (٣) هذه الظاهرة .





الشكل (٢٥)

تكون جزئ كلوريد الصوديوم

١ - ذرات الصوديوم والكلور - وفيها

يظهر وضع الإلكترونات في المدار الخارجى .

٢ - انتقال أحد الإلكترونات من ذرة

الصوديوم إلى ذرة الكلور .

٣ - جسيم الصوديوم بعد انتقال الكترون

منه وتحوله إلى شحنة موجبة، وجسيم الكلور

بعد انتقال إلكترون إليه وتحوله إلى شحنة سالبة.

٤ - جزئ كلوريد الصوديوم الناتج

بفعل التجاذب الكهربى بين الشحنة السالبة

والشحنة الموجبة .

وحيث أن الإلكترون الذى سبق أن انتقل من ذرة الصوديوم إلى ذرة الكلور ، لا يرجع إلى مكانه الأسمى ، فإن هذا يعنى أن جسيم الصوديوم يحمل شحنة كهربائية موجبة ، أى يصبح « أيون موجب » وأن جسيم الكلور يحمل شحنة كهربائية سالبة ويصبح « أيون سالب » وتحدث هذه الأيونات أو الشحنات الكهربائية بتأثير الذوبان ، ولا دخل للتيار الكهربائى فى حدوثها . ويمكن التعبير عن ظاهرة التأين بالمعادلة التالية :



- ظاهرة التحليل الكهربائى :

يمكن تلخيص ظاهرة التحليل الكهربائى بأن بعض جزيئات المادة تنقسم فى المحلول إلى شطرين يحمل أحدهما شحنة موجبة ويحمل الثانى شحنة سالبة كما سبق أن بينا فى ظاهرة التأين . إذا تعرض هذا المحلول لفرق جهد تندفع الشحنة الموجبة إلى الكاثود وتندفع الشحنة السالبة إلى الأنود ، حيث يفقد كل منهما شحنته ويتعادل أخذا الصفة المألوفة لمادته . وعندما يترسب على الإلكترونات فإنه يتفاعل معه أحيانا أو يتفاعل مع ماء المحلول مكونا ذرات متعادلة، وتسمى هذه الظاهرة الأخيرة باسم « التحليل الكهربائى » .



- منع الاستقطاب وإزالته :

بعد معرفة ظاهرة انفصال الشحنة الكهربائية وتكون الأيونات يمكن تقسيم كيفية حدوث الاستقطاب وطرق منعه وإزالته باستخدام خلية الزنك-كربون بالكتروليت من كلورور الأمونيوم كما يلي :

إذا غمس قضيبان أحدهما من الزنك والآخر من الكربون في محلول من كلورور الأمونيوم، فإن تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية ، يبدأ بمجرد غلق الدائرة الخارجية ( أى توصيل جزئى القضيبين الظاهرين ) .

ويتحلل الالكتروليت فتتجه أيونات الهيدروجين السالبة إلى الأنود الكربونى ، بينما تتجه أيونات الأكسجين الموجبة إلى الكاثود الزنك ، ويقوم الغازان بتغطية كل من الأنود والكاثود بطبقة رقيقة من الغاز . وكلما زادت تغطية الكاثود والأنود بالغاز ، يزداد عزلهما عن الالكتروليت المحيط بهما مما يؤدي إلى انخفاض جهد الخلية نتيجة لزيادة مقاومتها الداخلية . وهذه الظاهرة تسمى « الاستقطاب العادى » .

وبالإضافة إلى الاستقطاب العادى الذى يحدث فى خلية الكربون - الزنك توجد ظاهرة أخرى نتيجة لهذه العملية ، وهى تكون خلية ثانوية - هى خلية الهيدروجين - الأكسجين وهذه الخلية لها أقطاب مضادة لخلية الكربون - زنك . وهذا يعنى أن التيار الأيونى لخلية الهيدروجين - الأكسجين له اتجاه يعاكس اتجاه تيار خلية الكربون - زنك . وهذه العملية التى تحدث لأقطاب الخلية الجلفانية بعد توصيل قطبيها من الخارج ، تسمى عملية « الاستقطاب الالكتروليتى » . ولمنع الاستقطاب يجب التخلص من الهيدروجين المتكون .

وللتخلص من الاستقطاب الحادث فى خلية « لكلائشه » ، يستخدم مسحوق من ثانى أكسيد المنجنيز (  $MnO_2$  ) وبعض المواد الأخرى، توضع فى الوعاء المحيط بقضيب الكربون . ويكون لثانى أكسيد المنجنيز قدرة على إخراج كمية كافية من الأكسجين الذى يتحد كيميائيا مع الهيدروجين قبل وصوله إلى الأنود . ويقوم الأكسجين الذى يصل إلى الكاثود تدريجيا بتحليل قضيب الزنك ليدخل ضمن الالكتروليت . وبذلك نمنع عملية الاستقطاب .

وفى بعض الأحيان يستخدم الأكسجين الموجود فى الجو ، بدلا من مسحوق ثانى أكسيد المنجنيز ، لمنع عملية الاستقطاب . وفى هذه الحالة يحاط قضيب الكربون بمسحوق من الفحم النباتى النشط ، القادر على جلب الأكسجين الجوى ليتحد كيميائيا بهيدروجين الناتج ، مكونا ماء وذلك قبل أن يصل إلى الأنود .



## (١٦) الخلايا الابتدائية الشائعة الاستعمال :

أدى التقدم التكنولوجي السريع في السنوات الأخيرة إلى إدخال الكثير من التحسينات على الخلايا الابتدائية . ويوجد حاليا سلسلة من الخلايا الابتدائية المستخدمة في الأغراض الخاصة والأغراض العامة ، مثل :

### ( أ ) خلايا الزنك - أول أكسيد المنجنيز بالكترووليت كلورور الأمونيوم :

بطل استخدام الأعمدة السائلة التي يطابق تصميمها إلى حد كبير خلية « لكلائشي » الموضحة بالشكل ( ٢٤ ) ، وحل محلها البطاريات الجافة من هذا النوع والتي زاد الإقبال عليها بدرجة كبيرة . وقد استعوض فيها عن محلول كلورور الأمونيوم السائل بمجينة مكونة من كلورور الأمونيوم مع نشارة الخشب والصمغ أو الهلام . وتتميز المجينة عن السائل بتماسك قوامها بحيث يمكن استخدام البطارية في أي وضع ونقلها بسهولة إلى أي مكان .

ويجب مثل هذه الخلايا الابتدائية قصر وقت تخزينها ، حيث أن قضييب الزنك يتآكل ويتحلل حتى بدون غلق الدائرة الخارجية ، أي حتى بدون استعمال الخلية .

وقد أدخلت بعض التحسينات على تصميم الخلايا باستخدام الأكسجين الجوى ، وفي هذا النوع من الخلايا لا تفتح الممرات الهوائية التي تسمح بمرور الهواء إلى الكربون النشط ، إلا عند استخدام الخلية فقط ، وذلك لإطالة عمر تخزينها .

### ( ب ) خلايا الزنك - أول أكسيد المنجنيز بالكترووليت قلوى :

يعتبر كلورور الأمونيوم المستخدم في الخلايا الابتدائية أحد العوامل المدمرة للزنك . ويمكن تحسين خواص تخزين هذه الخلايا ومنع تآكل الزنك باستخدام محلول هيدروكسيد البوتاسيوم بدلا من كلورور الأمونيوم . وقد أدى هذا أيضا إلى زيادة قدرة خرج هذه الخلايا خاصة في درجات الحرارة المنخفضة ( حوالى - ٤٠°م ) . لذلك يمكن استخدامها في المناطق الباردة ( القطب الشمالى أو الجنوبي ) . ويفضل استخدام البطاريات ذات الإلكترووليت القلوى بدلا من الخلايا الابتدائية العادية في الأحوال التي تتطلب فيها تشغيل البطاريات على الأحمال القصوى ولفترات طويلة .

### ( ج ) خلايا الزنك - أكسيد الزئبقوز :

يحد من استخدام خلايا الزنك - أول أكسيد المنجنيز ، انخفاض كفاءتها عند تشغيلها في درجات الحرارة المرتفعة . وذلك نظرا لزيادة التفريغ الذاتي عند درجة الحرارة ٤٥°م ، مما يجعل استخدامها في المناطق الحارة غير اقتصادى . ويفضل في هذه الأحوال استخدام خلايا الزنك - أكسيد الزئبقوز ، وذلك نظرا لكفاءتها العالية وصغر حجمها وخفة وزنها وقدرتها على العمل في درجات الحرارة العالية .



وتتميز هذه الخلايا بكفاءة تشغيل عالية عند درجات حرارة حتى ٥٥° م ، مع إمكان استخدامها لفترات صغيرة عند درجة حرارة ١٠٠° م . ويعيب هذه الخلايا : ارتفاع ثمنها نتيجة لارتفاع أثمان الخامات المستخدمة فيها ولتصميمها المعقد . هذا بالإضافة إلى الصعوبات المتعلقة بإحكام تغليفها وإغلاقها ، حيث أن تسرب الغاز يؤدي غالبا إلى تفاعلات كيميائية تؤدي إلى تدمير الخلية .

#### (د) خلايا الوقود :

سبق أن بينا عند التحدث عن الاستقطاب ، أن هناك خلايا لائوية تتكون من الهيدروجين - الأكسجين داخل خلايا الزنك - كربون ، ويكون خلية الهيدروجين - أكسجين نفس مميزات وخواص أية خلية جلفانية . كما بينا أن هناك ظاهرة أخرى تلعب فيها الغازات دورا هاما في الخلية الجلفانية، وهو تأكسد الهيدروجين في الخلية نتيجة لاستخدام الأكسجين الجوي . وفي أواخر القرن الماضي فكر « أوزوالد » في استخدام الغازات أو السوائل القابلة للاشتعال في صناعة خلايا الوقود ، بدلا من استخدام الكربون أو المعادن التقليدية أو أكاسيدها في صنع الخلايا العادية . وبعد حوالي ٧٠ سنة تقريبا من فكرة « أوزوالد » هذه ، اتخذت الإجراءات الأولية لإنتاج أول خلية وقود ، وقد أطلق عليها اسم « بطاريات الوقود شبه الصناعية » لتدل على مصدر الخامات التي تصنع منها هذه البطاريات .

ومن الناحية الاقتصادية لم تصل بطاريات الوقود المنتجة حاليا إلى المستوى الذي يمكن مقارنته مع البطاريات العادية ، حيث أن تكاليف توليد طاقة كهربائية معينة بواسطة البطاريات التقليدية أقل من تكاليف توليد نفس الطاقة بواسطة بطاريات الوقود ، وذلك لارتفاع أثمانها للأسباب التالية :

- ١ - إن خواص الخامات المستخدمة في صنع الأنود والكاثود لبطاريات الوقود تختلف تماما عن خواص خامات الأنود والكاثود في البطاريات التقليدية .
- ٢ - إن خلايا الوقود تحتاج إلى أغلفة صامدة لارتفاع درجات الحرارة وللانفجار .
- ٣ - إنه يلزم لبعض بطاريات الوقود التي تعمل تحت ضغوط جووية عالية ، مضخات ووسائل لقياس الضغط والتحكم فيه .

وفيما يلي وصف مرجز لبطارية أكسجين - هيدروجين صنعها « باكون » ، وهي نوع من البطاريات التي تعمل في درجات الحرارة المتوسطة .

تصنع أقطاب هذه البطارية من مسحوق النيكل على هيئة قشور ، والإلكتروليت المستخدم فيها محلول من هيدروكسيد البوتاسيوم ( ٢٨٪ بوتاسيوم ) . ويستخدم فيها الهيدروجين كوقود



والأكسجين كوكسد ، ويبدأ فيها الاحتراق عند ضغط يساوى ٢٧ ضغطا جويا، وعند درجة حرارة ٢٠٠° م .

وتعطى هذه البطارية جهدا قدره ٣٢ فلت، وقدرة خرج في حدود ٥ كيلوات . وقد اجتازت هذه البطاريات إختبارات الأداء بكفاءة عالية حيث استخدمت لمدة تزيد على عام . ويمكن اعتبارها بطارية مثالية للخدمة الطويلة ، بصرف النظر عن المشكلات الجانبية الأخرى، مثل ارتفاع تكاليف المعدات والمواد المستخدمة في إنتاجها .

وخلاصة القول أن بطاريات الوقود مازالت في بداية عهدها . وأن إنتاجها الذي يتم حاليا على مستوى محدود ، يبشر بأنها ستكون في المستقبل مصدرا مهما من مصادر الطاقة ، وخاصة إذا أمكن إنتاجها بطريقة اقتصادية .

### (١٧) تصنيف البطاريات الابتدائية التجارية :

فيما يلي مسح للبطاريات التجارية المستخدمة في الأغراض العامة :

نوع الخلية	الجهد المقنن	استعمالها
الخلية القضيبيية (الخلية ذات القضيب الواحد) الشكل ٢٦	١,٥ فلت	تستخدم في عمليات الإنارة، وفي مصابيح الإنارة التي توضع في الجيب، وفي أجهزة الراديو الترانزستور وبطاريات الشحن ومصابيح الوميض المستخدمة في التصوير ومصدرا لتغذية لعب الأطفال بالكهرباء .
بطارية مصباح الإنارة الشكل ٢٧	٣,٠٠ فلت	تستخدم في مصابيح الإنارة التي توضع في الجيب .
البطارية المسطحة (المبططة) الشكل ٢٨	٤,٥ فلت	تستخدم في مصابيح الإنارة التي توضع في الجيب ، ومصدرا لتغذية في لعب الأطفال .
البطارية الأنودية الشكل ٢٩	٢٢,٥ فلت	تستخدم كمصدر لتغذية أجهزة السمع .
البطارية الأنودية الشكل ٣٠	٨٥ فلت	تستخدم مصدرا لتغذية أجهزة الراديو (ويمكن الحصول عليها أيضا بجهد ٧٥ فلت ، ٦٧,٥ فلت)
البطاريات المستخدمة في الصناعة . الشكل ٣١	١,٥ فلت	تستخدم في مجالات مختلفة كمصدر لتغذية أجهزة الأمان .



وبجانب ذلك توجد بطاريات قضييية لأجهزة الراديو الترانزستور الصغيرة ، و بطاريات على شكل صندوق لعمليات الفلاحة بالكهرباء ، و بطاريات على هيئة أزرار تستخدم في الساعات اليدوية التي تعمل بالكهرباء .

وتبين الأشكال ( من ٢٦ إلى ٣١ ) أنواعا مختلفة من البطاريات التجارية .

ملحوظة : يراعى ما يلي في البطاريات الابتدائية التجارية المستخدمة في الأغراض العامة :

- ١ - أن ترقم البطاريات الأولية المستخدمة في الأغراض الصناعية والتجارية بالجهد المقنن .
- ٢ - الإقلال من استخدام البطاريات التي يزيد جهدها على ١,٥ فلت في الأغراض العامة بسبب ارتفاع أثمان الحامات المستخدمة فيها .
- ٣ - التأكد من جهد وحجم وسعة البطارية عند استخدامها أو عند توصيلها ببطارية أخرى .

الشكل (٢٦) خلية وحيدة



الشكل (٢٧)

بطارية مصباح للجيب .



الشكل (٢٩) بطارية أنودية

٢٢,٥ فلت

الشكل (٢٨) بطارية مبططة .





الشكل (٣١) بطارية صناعية



الشكل (٣٠) بطارية أنودية  
٨٥ فلت

(١٨) طرق توصيل البطاريات :  
توصل البطاريات الأولية عادة للحصول على جهد أكبر من جهد خلية واحدة أو تيار أكبر من تيار خلية واحدة .  
وفيما يلي وصف ببسط لطرق توصيل الخلايا الابتدائية أو الثانوية مع بعضها البعض :

( أ ) توصيل البطاريات على التوالي :  
قد يحتاج تشغيل جهاز كهربائي إلى جهد أكبر من جهد خلية واحدة من الخلايا المتوفرة في السوق ، لذلك يلزم توصيل عدة خلايا من هذا النوع على التوالي كما هو موضح في الشكل ( ٣٢ ) .

الشكل (٣٢) كيفية توصيل الخلايا على التوالي

ج كل = ن ج خ  
حيث ج كل = الجهد الكلي للبطارية (الجهد الكلي لجميع البطاريات الموصلة على التوالي )  
ج خ هو الجهد الخارج من كل خلية  
، ن عدد الخلايا الموصلة على التوالي

مثال :

جهاز ترانزستور يعمل على جهد ١٠ فلت ، ومجهز ليعمل ببطاريات على هيئة أزرار جهد كل منها ١,٢ فلت ، ويقدر الفقد في الجهد في هذا الجهاز بحوالى ٥٪ فـا عدد الخلايا المطلوبة من هذا النوع .

المعطيات :

جهد الجهاز ج = ١٠ فلت .

جهد البطارية جـب = ١,٢ فلت

فقد = ٥٪

الحل :

$$\text{الفقد في الجهد الكلى} = \frac{١٠ \text{ فلت} \times ٥}{١٠٠} = ٠,٥ \text{ فلت}$$

$$\text{الجهد الكلى جـكل} = ١٠ \text{ فلت} + ٠,٥ \text{ فلت} = ١٠,٥ \text{ فلت}$$

$$\text{الجهد الكلى} = \text{جهد خلية واحدة} \times \text{عدد الخلايا}$$

$$\text{الجهد الكلى} = \text{جـب} \times \text{ن} \quad \therefore \text{ن} = \frac{\text{جـكل}}{\text{جـب}} = \frac{١٠,٥}{١,٢} = ٩$$

المطلوب ٩ خلايا .

(ب) توصيل البطاريات على التوازي :

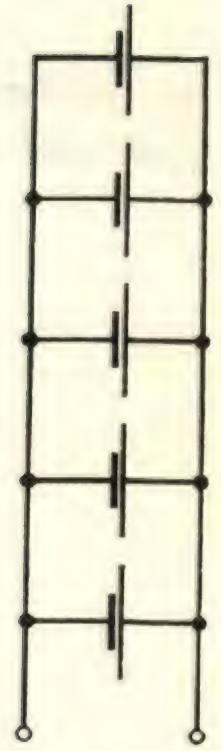
إذا احتاج تشغيل جهاز كهربائى إلى تيار أكبر من التيار المقنن لخلية واحدة من الخلايا المتاحة في السوق ، فيمكن الحصول على التيار المطلوب بتوصيل عدة خلايا من هذا النوع على التوازي .

وبين شكل (٣٣) خمس خلايا موصلة على التوازي . ويمكن اعتبارها خمس مقاومات متصلة على التوازي لتمثيل حساب علاقات التيار في دائرة البطاريات الموصلة على التوازي وتبسيطها . وقد بنيت جميع الحسابات على أساس تيار قصر الدائرة للخلية حتى يمكن تطبيق قانون « كرشوف » عليها في هذه الحالة .

مثال :

خلية جهدها ١,٥ فلت ومقاومتها الداخلية م = ٠,٥





الشكل (٣٣) كيفية توصيل الخلايا على التوازي

$$\therefore T = \frac{J}{M} \quad \text{أى } T = \frac{1,5}{0,5} = 3 \text{ أمبير}$$

فإذا كانت الخلية مقصورة الدائرة فسيمر بها تيار شدته ٣ أمبير .

ولنفرض أن جميع الخلايا موصلة على التوازي، كما هو مبين بالشكل (٣٣) وأن المقاومة الداخلية مقدارها  $0,5 \Omega$  ، فن الممكن تمثيل الدائرة بخمس مقاومات متساوية متصلة على التوازي .

$$\therefore \text{المقاومة الكلية للدائرة} = \frac{\text{قيمة إحدى المقاومات بالأوم}}{\text{عدد المقاومات}} = \frac{0,5}{5} = 0,1 \Omega$$

أى أن المقاومة الكلية للدائرة المكونة من خمس خلايا موصلة على التوازي تساوى  $0,1 \Omega$  .  
وحيث أن الجهد الكلى  $J$  كل فى حالة توصيل الخلايا على التوازي يكون مساويا لجهد خلية واحدة :

$$\therefore T = \frac{J}{M_{\text{كل}}} = T = \frac{1,5 \text{ فلت}}{0,1}$$

$$T = 15 \text{ أمبير}$$

أى أنه فى حالة توصيل الخلايا الأولية على التوازي تكون شدة التيار الكلى المار فى أطراف الدائرة مساوية لمجموع شدة التيارات المارة فى البطاريات الموصلة على التوازي .

## ثانيا : الخلايا الثانوية ( المراكم أو خلايا التخزين ) :

يطلق هذا الاسم على الخلايا التي تحول فيها الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية ، وتبقى فيها الطاقة الكهربائية مخزنة على هيئة طاقة كيميائية إلى أن يسحب منها التيار عند الحاجة . وتتميز هذه الخلايا بإمكان حدوث تفاعلات عكسية فيها لتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية مرة أخرى . أى أن مرور التيار في الاتجاه العكسي يؤدي إلى إعادة الخلية إلى حالتها الأصلية ، ويتم تخزين الكهرباء فيها مرة ثانية . والخلايا الثانوية يطلق عليها أيضاً اسم «خلايا التخزين» أو «المراكم» ، لما تتميز به من خاصية تخزين الطاقة الكهربائية .

ويوجد مجموعتان من بطاريات التخزين :

( أ ) بطاريات الرصاص الحمضية .

( ب ) بطاريات النيكل القلوية .

وهذا التصنيف يبنى على أساس الحماة التي يصنع منها الأنود في هذه البطاريات ، أو على أساس الإلكتروليت المستخدم في كل منها .

### ( ١٩ ) بطاريات الرصاص الحمضية :

يطلق على بطاريات الرصاص الحمضية اسم « مراكم الرصاص » أو « المراكم الحمضية » ، وتتكون من وعاء به فتحات لخروج النهايات ، وفتحات أخرى لتوصيل الخلايا ، التي تحتوي عليها البطارية ، بعضها ببعض على التوالي .

كما يوجد بالوعاء فتحات أخرى لملء خلايا البطارية . وتغلق هذه الفتحات الأخيرة بإحكام بواسطة سدادات لولبية . ويوجد بداخل الوعاء ، الأقطاب ، والإلكتروليت . ويصنع الوعاء عادة من مادة مقاومة للأحماض ( مثل الزجاج أو المطاط الناشف أو السيراميك ) ، أما الأقطاب فتصنع من ألواح من الرصاص الناشف . وهذه الألواح تكون على هيئة شبكة مثقبة تسمح بمرور الإلكتروليت خلالها ، ويغطي سطحها بمعجينة من كبريتات الرصاص ( ركب أ ) . وهذه المعجينة هي المادة الفعالة التي تغطي بها الألواح ، بحيث تزيد من مساحة السطح الفعال للوح بدرجة كبيرة . ويبين الشكل ( ٣٤ ) تمثيلاً تخطيطياً لأحد هذه الألواح . وأما الإلكتروليت فهو عبارة عن حمض الكبريتيك المخفف .

وتتكون كل خلية من خلايا الرصاص النقال المستخدمة في العربات وفي إضاءة المصابيح من عدة ألواح من الرصاص لها نفس الخواص التي سبق شرحها ، وتوصل فيها الألواح معا على التوازي ، ويفصلها عن بعضها البعض ألواح عازلة من البلاستيك ، لمنع التلامس بين الألواح الرصاص عند انبعاثها نتيجة لارتفاع درجة حرارة البطارية أثناء التشغيل . ويراعى عند وضع



الألواح الرصاص في البطارية . ترك فراغ بسيط بين نهايتها السفلى وبين قاع الوعاء وذلك لضمان عدم حدوث تلامس بين نهايات الألواح مع بعضها البعض ، أو بينها وبين قاع الوعاء عن طريق نفثات المواد الموصلة التي قد تتناثر وتتراكم في قاع الوعاء أثناء عملية تشغيل البطارية . وتصمم بطاريات الرصاص حالياً بحيث تحتوي كل بطارية على حجرات منفصلة يكون عددها عادة ثلاثة أو مضاعفات لهذا العدد . وتحتوي كل حجرة منها على خلية واحدة جهدها ٢ فلت . وتوصل هذه الخلايا عادة على التوالي . ومن الممكن حساب عدد الخلايا الموجودة في البطارية عن طريق عدد الفتحات الخاصة بملء الخلايا .

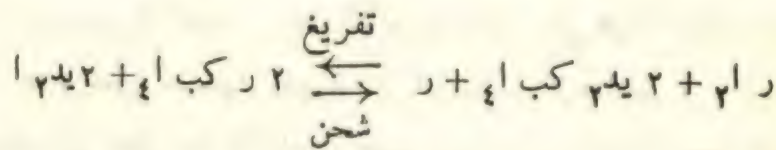
## (٢٠) حالة الشحن وحالة التفريغ لبطاريات الرصاص :

### ١ - حالة التفريغ :

إذا غمر لوحان مطليان بكبريتات الرصاص ، من نفس النوع الذي سبق وصفه ، في سائل إلكتروليتي يتكون من الماء المقطر وحمض الكبريتيك ، ووصل الطرفان الظاهريان لهذين اللوحين بدائرة خارجية ، فلن يمر بالدائرة أي تيار كهربائي ، لأن المواد التي تتركب منها أقطاب الخلية متشابهة . لذلك لا يحدث بين القطبين أي فرق في الجهد . وتوصف البطارية في هذا الوضع « بأنها في حالة تفريغ » . وتورد البطاريات عادة وهي على هذه الحالة قبل شحنها . ويوضح شكل (٣٥) حالة التفريغ هذه .

### حالة الشحن :

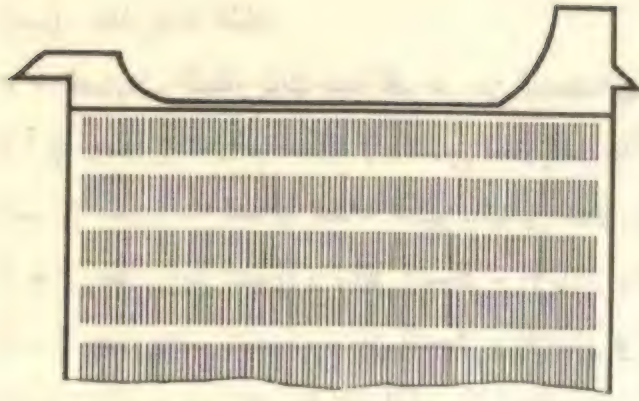
عند تسليط تيار مستمر على الخلية السابقة ، فإن اللوح أو القطب المتصل بالنهاية السالبة للتيار المستمر يتحول من كبريتات الرصاص ( ركب ا ) إلى رصاص أسفنجي ( ر ) ، بينما يتحول اللوح أو القطب المتصل بالنهاية الموجبة للتيار المستمر إلى فوق أكسيد الرصاص ( ر ا )



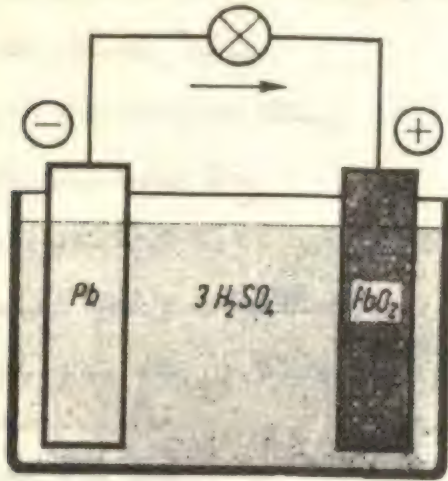
ويلاحظ أن عملية الشحن تؤدي إلى زيادة تركيز حمض الكبريتيك في السائل الإلكتروني ، لأن الحمض المتبقى من كبريتات الرصاص يتحد مع الهيدروجين الموجود في الماء ، مكوناً حمض كبريتيك فيؤدي ذلك إلى زيادة كثافة السائل ( انظر شكل ٣٦ ) .

وبعد إتمام الشحن تصبح للبطارية مواصفات الخلية الجلفانية التي سبق شرحها ، أي يصبح لكل لوح من لوحى البطارية المغمورين في السائل الإلكتروني تكوين ومواصفات تختلف من حيث التوصيل الكهربائي عن اللوح الآخر ، أي يصبح بينهما فرق في الجهد الكهربائي .

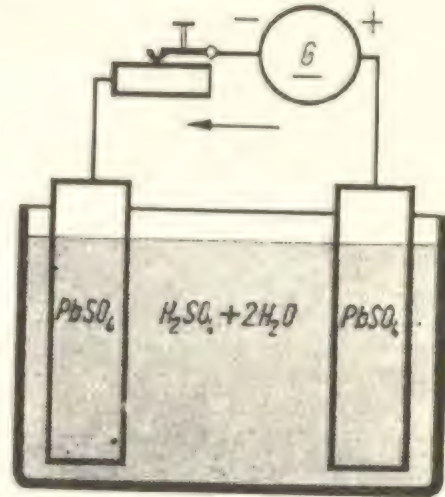




الشكل (٣٤) لوح ذو سطح عريض  
مستخدم في صنع البطاريات الحمضية .



الشكل (٣١) بطارية تخزين في حالة شحن



الشكل (٣٥) بطارية تخزين في حالة تفريغ

وعند غلق الدائرة الخارجية ومرور التيار فيها تبدأ عملية أخرى عكس العملية السابقة . حيث يتفاعل لوح الرصاص الإسفنجي المتصل بالقطب الموجب مع الحمض ، بحيث يصبح هذا اللوح كبريتات رصاص ، كما يتفاعل لوح فوق أكسيد الرصاص المتصل بالقطب السالب مع الحمض بحيث يصبح هذا اللوح أيضا كبريتات رصاص ، وعند ذلك تتشابه طبيعة اللوحين وتصبح البطارية فارغة ، أي « في حالة تفريغ » . وتقل كثافة السائل الإلكتروليتي . وعندئذ يجب شحن البطارية .

#### (٢١) تصنيف بطاريات الرصاص التجارية :

قبل شرح بطاريات الرصاص المستخدمة في الأغراض العامة والمتاحة في الأسواق ، يفضل تصنيفها لمعرفة أنواعها وطرق استخدامها . وتصنف بطاريات التخزين عادة إما تبعا لطرق تركيبها ووضعها في المعدات ، أو تبعا للغرض من استخدامها ، أو تبعا لشكلها .



١ - تصنيف بطاريات التخزين تبعا لطرق تركيبها ووضعها في المعدات :

( أ ) بطاريات ثابتة .

( ب ) بطاريات نقالى .

٢ - تصنيف البطاريات تبعا للغرض من استخدامها :

( أ ) بطاريات رفع الطاقة ( وتسمى بطاريات عائمة ) .

( ب ) بطاريات لتغذية الطاقة الكهربائية في حالات الطوارئ .

( ج ) بطاريات لتغذية وسائل التحكم والإنذار بالقدرة اللازمة .

( د ) بطاريات لتغذية وسائل التحكم والإنذار في الترددات العالية بالقدرة اللازمة

( هـ ) بطاريات لتغذية الطاقة الكهربائية للأغراض الطبية .

( و ) بطاريات للمركبات .

( ز ) بطاريات لعملية بدء التشغيل .

( ح ) بطاريات لعملية الدفع .

( ط ) بطاريات للإنارة .

٣ - تصنيف البطاريات تبعا للشكل :

( أ ) بطاريات منشورية الشكل .

( ب ) بطاريات قائمة .

( ج ) بطاريات أفقية .

( د ) بطاريات على شكل زرار { توجد مثل هذا الخلايا في المراكم

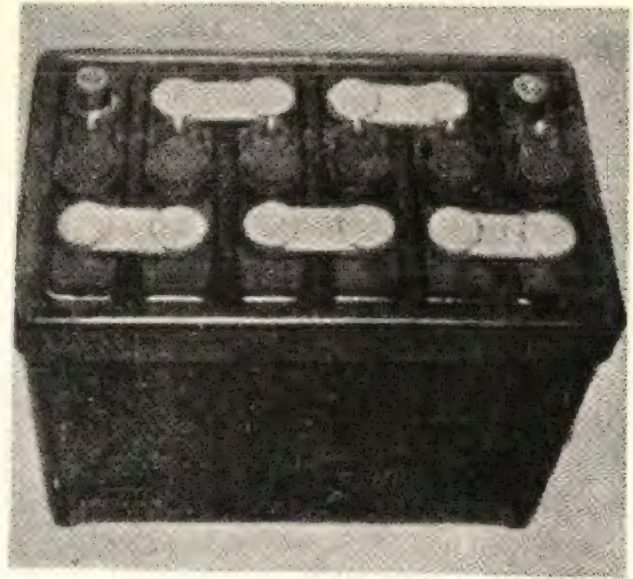
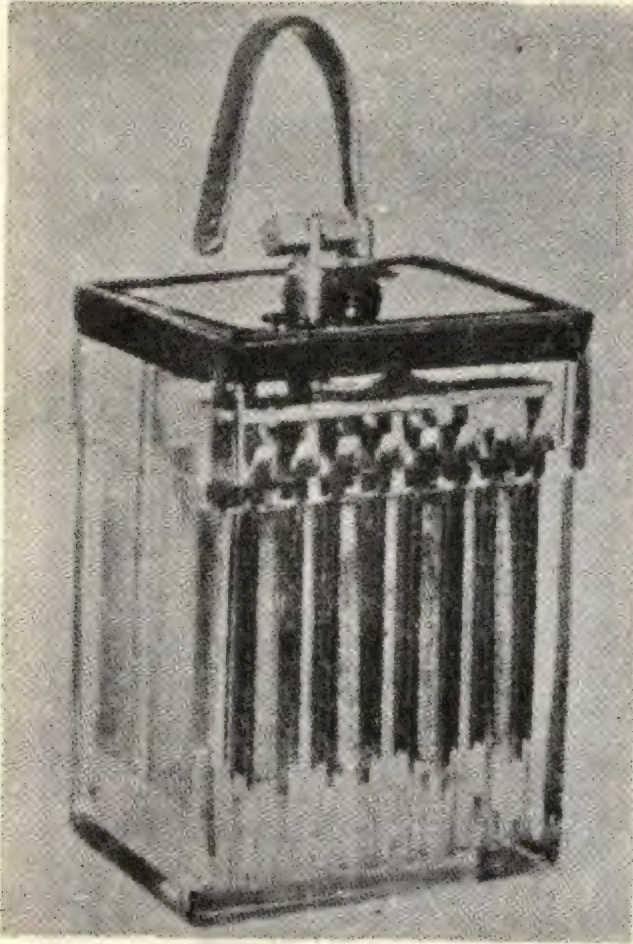
( هـ ) بطاريات دائرية الشكل { النيكل - كادميوم .

وهناك بعض بطاريات التخزين التجارية الخاصة ولكنها قليلة ، ومنها :

نوع الخلية التي تتكون منها البطارية	السعة
خلية وحيدة في وعاء زجاجي ( شكل ٣٧ )	من ٣٦ إلى ٧٢٠ أمبير ساعة
خليتان في وعاء زجاجي	من ٥٧٦ إلى ١٤٤٠ أمبير ساعة
خلية وحيدة في وعاء لا يتأثر بالحمض	من ٧٢٠ إلى ٤٤٦٤ أمبير ساعة
بطاريات بدء الحركة ( شكل ٣٨ )	٨ أمبير ساعة بجهد ٦ فولت أو ٥٦ أمبير - ساعة إلى ١٨٠ أمبير - ساعة بجهد ٦ فلف
	أو ١٢ فلف .
بطاريات موضوعة في صناديق حديدية	٨٠ أمبير - ساعة بجهد ٤٠ فلف إلى ٣٠٠
تستخدم لدفع العربات الكهربائية	أمبير / ساعة بجهد ٢٠ فلف
بطاريات موضوعة في صناديق خشبية تستخدم لدفع العربات الكهربائية	١٣٢ أمبير - ساعة بجهد ٨٠ فلف إلى ٣٥٠ أمبير - ساعة بجهد ٤ فلف



الشكل (٣٧) خلية وحيدة موضوعة في إناء زجاجي



الشكل (٣٨) بطارية تخزين مستخدمة لإدارة المحرك الكهربائي للسيارة (المارش) المستخدم في عملية بدء التشغيل .

## (٢٢) بطاريات التخزين القلوية أو مراكم النيكل القلوية :

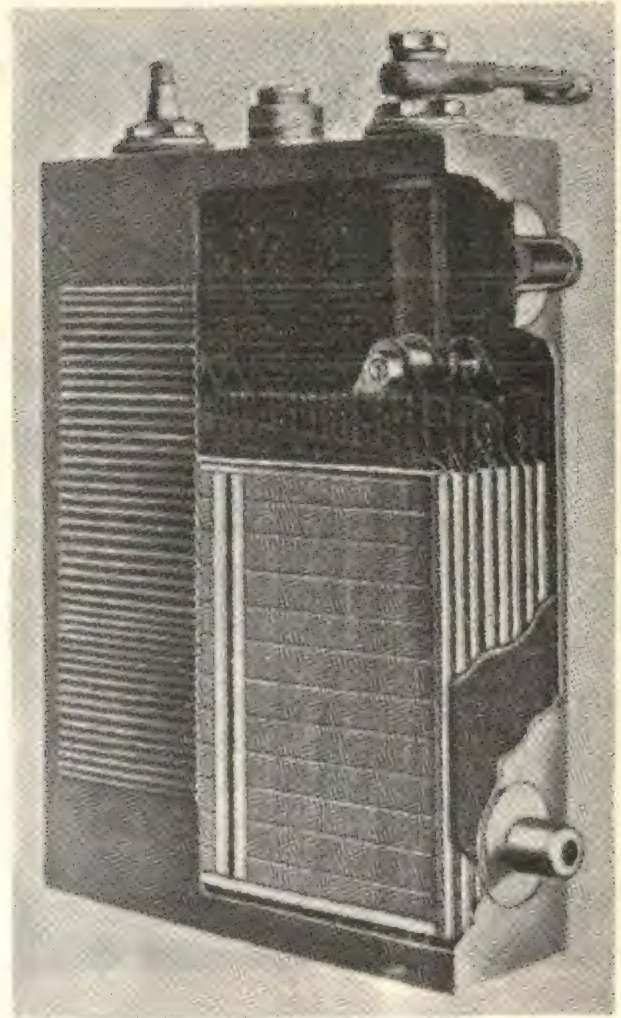
يطلق على بطاريات التخزين القلوية في كثير من الأحيان « المراكم القلوية » أو « مراكم النيكل » . ويتكون المرحم من وعاء بغطاء محكم يحوى الأقطاب والإلكتروليت . ويصنع الوعاء والغطاء عادة من ألواح الحديد المطلية بالنيكل . وتتم التوصيلات الخاصة بالأقطاب إلى خارج الوعاء خلال جلب معزولة محكمة . ويتكون القطب الموجب أو الأنود في المراكم القلوية من لوح من الحديد المنكل ، مثقب على هيئة شبكة ، ومنطى بطبقة من عجينة هيدروكسيد النيكل ( نى ( يد ا ) ٢ ) وهى المادة الفعالة للقطب الموجب . أما القطب السالب فهو عبارة عن لوح مثقب من الحديد المنكل ، ومنطى بطبقة من عجينة هيدروكسيد الحديد ( ح ( يد ا ) ٢ ) وهى المادة الفعالة للقطب السالب . أما الإلكتروليت فهو هيدروكسيد البوتاسيوم .

## (٢٣) حالة الشحن وحالة التفريغ للبطاريات القلوية :

### ١ - حالة الشحن :

تشحن البطاريات القلوية ليتحول القطب الموجب من هيدروكسيد النيكل إلى فوق أكسيد النيكل ، ويتحول القطب السالب من هيدروكسيد الحديد إلى حديد .





الشكل (٣٩) قطاع لمركم قلوى من النيكل -  
حديد ، تظهر فيه الأجزاء الداخلية للمركم .

ويمكن التعبير عن عملية الشحن بالمعادلة الآتية :

القطب السالب + الإلكتروليت + القطب الموجب .

ح + بوريد ١ + يد ٣ + ٢ في ( يد ١ ) ٣

حديد + هيدروكسيد البوتاسيوم + ماء + فوق أكسيد النيكل .

## ٢ - حالة التفريغ :

أما في حالة التفريغ ، أى عند توصيل البطارية بدائرة خارجية ، فيتفاعل الحديد مع الإلكتروليت مكونا هيدروكسيد الحديد ، ويتحول فوق أكسيد النيكل إلى هيدروكسيد النيكل ، ويلزم في هذه الحالة إعادة الشحن ثانية .

ومن الممكن التعبير عن عمليتي الشحن والتفريغ بالمعادلتين الآتيتين :

القطب السالب + الإلكتروليت + ماء + القطب الموجب .

حديد + هيدروكسيد البوتاسيوم + ماء + فوق أكسيد النيكل ← حالة الشحن

هيدروكسيد الحديد + هيدروكسيد البوتاسيوم + ماء + هيدروكسيد النيكل ← حالة التفريغ

وبين شكل (٣٩) منظرا لقطاع في مركم قلوى من النيكل - حديد .



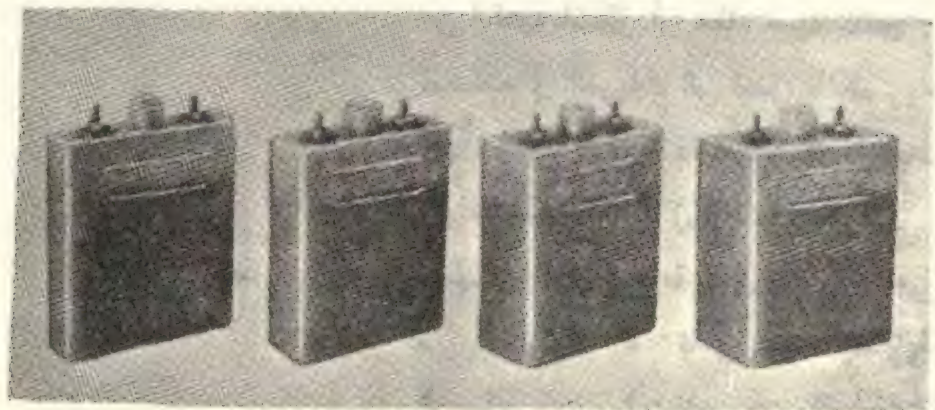
ويجب أن نلاحظ أن السائل الإلكتروليتي في المراكم القلوية لا تتغير كثافته أثناء عمليات الشحن والتفريغ . وقد أدخل الكثير من التحسينات على مراكم النيكل - حديد بإضافة الكوبلت إلى المادة الفعالة للقطب الموجب للمركم (هيدروكسيد النيكل) ، مما أدى إلى زيادة كفاءة المادة الفعالة بمقدار ٢٠٪ عن الأقل . كما أدخلت على البطاريات القلوية عموماً تحسينات كثيرة باستخدام الكادميوم كقطب سالب في هذا النوع من المراكم ( بدلا من هيدروكسيد الحديد ) مما أدى إلى زيادة كفاءة أداء هذا النوع من المراكم ، وتقليل كمية الغاز المتولد في البطاريات . وأصبحت مراكم النيكل - كادميوم تفضل على مراكم النيكل - حديد التقليدية ، وخاصة بعد أن أمكن صنع مراكم قلوية من نيكل - كادميوم تتميز بأنها محكمة لا يتسرب منها الغاز أو السائل . فجمعت هذه الأنواع الجديدة من البطاريات القلوية بين مميزات البطاريات الجافة وبين مميزات بطاريات التخزين السائلة ، التي يمكن إعادة شحنها .

وتتميز البطاريات القلوية بقدرة تحملها ، وطول عمر تشغيلها ، وعدم احتياجها إلى عمليات خدمة وصيانة مستمرة ، حيث أنها لا تحتاج إلا إلى إعادة الشحن فقط . كما أنه يمكن ترك البطارية القلوية جافة ، أو بدون شحن لمدة طويلة . وتعتبر البطارية نيكل - كادميوم المحكمة ضد تسرب الغاز أو تسرب السائل مصدرا هاما من مصادر الطاقة التي يفضل استخدامها في المناجم والأماكن التي قد تحتوي على متفجرات .

#### (٢٤) تصنيف بطاريات التخزين القلوية التجارية :

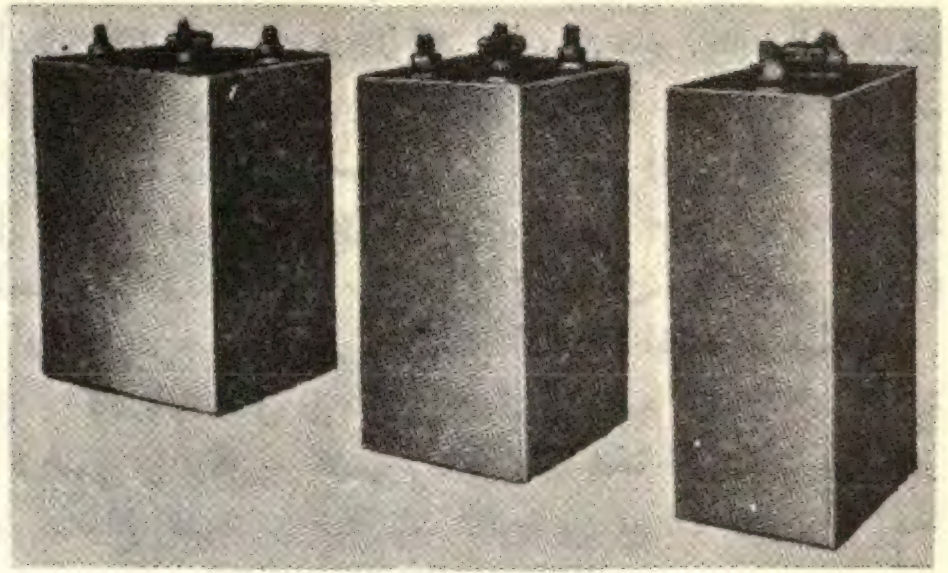
١ - مراكم النيكل - كادميوم التقليدية :

نوع البطارية	الجهد المقنن	السعة ، والاستخدام
خلية وحيدة في وعاء من البلاستيك .	١,٢ فلت	بسعة ٤ ، ٨ ، ١٢ ، ١٦ أمبير - ساعة ، توضع في وعاء من بلاستيك البوليسترين المنيع ضد الصدمات . تستخدم في هندسة الإشارات وفي القياسات الكهربائية .

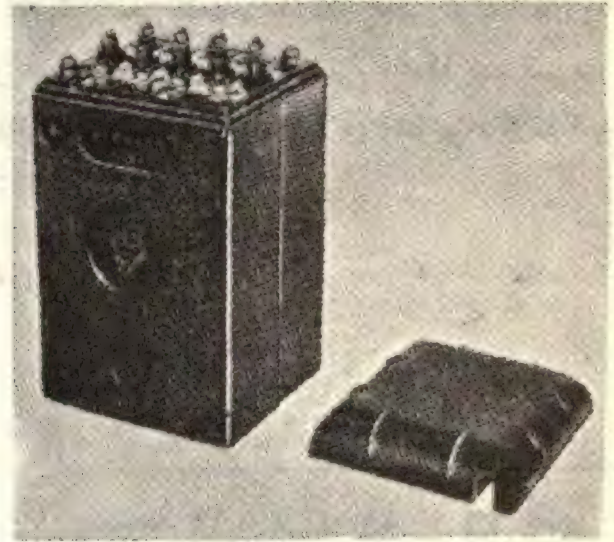


الشكل (٤٠) خلايا وحيدة موضوعة داخل إناء من البلاستيك





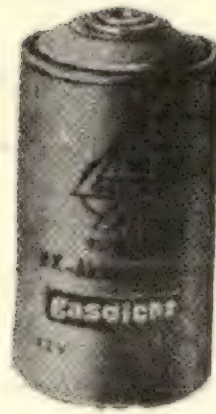
الشكل (٤١) خلايا وحيدة موضوعة داخل إناء من الحديد .



الشكل (٤٢) بطارية نيكل - كادميوم

نوع البطارية	الجهد المقنن	السعة - والاستخدام
خلية وحيدة في وعاء من الحديد	١,٢ فلت	سعتها ٣٠ إلى ٧٥ أمبير - ساعة ، في وعاء من الحديد المنكل أو غطاء حديد عادي . تستخدم في العربات التي تعمل بالكهرباء وفي عمليات الإنارة ذات الضغط المتوسط وفي هندسة الإشارات (وفي المركبات) .
بطارية نيكل - كادميوم	٦ فلت	سعتها ٨ أمبير - ساعة ، في وعاء زجاجي من البلاستيك له نفس أبعاد بطارية الرصاص . تستخدم في الدراجات الكهربائية وللإنارة والإشعال .





الشكل (٤٣) خاية على هيئة زرار      الشكل (٤٤) خلية اسطوانية .      الشكل (٤٥) خلية نيكل كادميوم على هيئة زرار

## ٢ - مراكم النيكل - كادميوم المحكمة ضد تسرب الغاز :

نوع البطارية	الجهد المقنن	السعة ، والاستخدام
بطارية على هيئة زرار (خلية وحيدة)	١,٢ فلت	سعتها ٥ ، ٥٠ ، ٢٢٥ ، ٤٥٠ و ٥٠٠ أمبير - ساعة . ونظرا لصغر حجمها فهي ملائمة للاستخدام في أجهزة السمع وفي أجهزة القياس وفي أجهزة الترانزستور .
بطاريات دائرية ( خلية وحيدة)	١,٢ فلت	سعتها ٣ أمبير - ساعة ، وأبعادها مساوية لأبعاد البطاريات الجافة وحيدة القطب . تستخدم في نفس الأغراض التي تستخدم فيها البطاريات وحيدة القطب .
بطارية على هيئة زرار نيكل كادميوم		هذه البطاريات عبارة عن مجمع من البطاريات السابقة وتوضع داخل وعاء من البلاستيك وجهد هذه البطاريات إما ٢,٤ أو ٤,٨ أو ٦ أو ٧,٢ فلت
بطاريات منشورية	١,٢ فلت	سعتها ١ ، ٢ ، ٦ ، ٧,٥ أمبير ساعة ، مجمعة في بطاريات . تستخدم في هندسة الإشارة وفي الإضاءة وفي هندسة السينما وفي القياسات الكهربائية .



(٢٥) مقارنة بين مراكم الرصاص الحمضية والمراكم القلوية :

مراكم الرصاص	مراكم النيكل - كادميوم التقليدية	مراكم النيكل - كادميوم المحككة ضد تسرب الغاز
<p>المزايا :</p> <p>لها قدرة عطاء ( خرج ) كبيرة ، وتتميز بقلّة تكاليف تصنيعها وقلة مقاومتها الداخلية ، مما يساعد على سحب تيار كبير منها لمدة قصيرة ( كما في حالة بدء تشغيل العربات ) .</p> <p>العيوب :</p> <p>لا تتحمل الإجهادات الميكانيكية الكبيرة ، وعمر تشغيلها قصير ، كما أنه لا يمكن تحميلها بحمل زائد أو شحنها شحنًا زائدًا أو تركها في حالة جفاف ، ويجب أن تبقى مشحونة بصفة مستمرة .</p>	<p>المزايا :</p> <p>خفيفة الوزن ، تتحمل الإجهادات الميكانيكية الكبيرة ، وعمر تشغيلها طويل ، ويمكن أن تتعرض للأحمال الزائدة والشحن الزائد ، من الممكن أن تترك في حالة تفريغ أو وهي جافة دون أن تتأثر .</p> <p>العيوب :</p> <p>تكاليف تصنيعها كبيرة وجهد كل خلية من خلاياها صغير ، وقدره خرجها ( عطائها ) صغيرة ، ومقاومتها الداخلية كبيرة .</p>	<p>المزايا :</p> <p>لها نفس مزايا الخلايا القلوية التقليدية ، إلا أنها تمتاز عنها بأنها يمكن وضعها في أي مكان وبأية كيفية ، كما أنها لا تحتاج لأي عناية خاصة في تشغيلها أو صيانتها .</p> <p>العيوب :</p> <p>بها نفس العيوب الموجودة في البطاريات القلوية التقليدية .</p>

ملحوظة :

تسوق جميع المراكم في الغالب على حالتها الأصلية قبل أن تشحن ( ماعدا مراكم النيكل كادميوم المحككة ضد تسرب الغاز ) ، لذلك يجب شحن جميع البطاريات قبل استخدامها .

(٢٦) طرق شحن المراكم وتحديد سعتها وكفاءتها :

١ - شحن بطاريات الرصاص الحمضية :

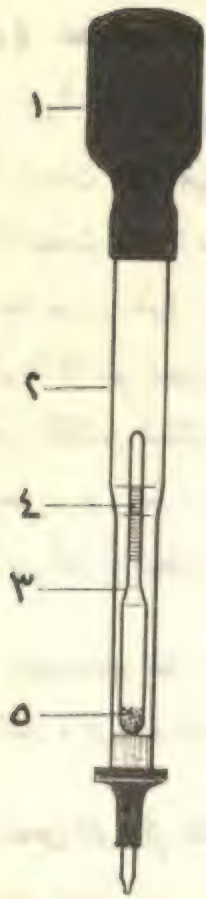
تملأ مراكم الرصاص الجديدة بالسائل الإلكتروليتي ، وهو عبارة عن حمض الكبريتيك المخفف الذي لا تقل كثافته عن ١,١٧ : ١,١٨ جم / سم<sup>٣</sup> ( وهي كثافة السائل الإلكتروليتي في حالة التفريغ ) على أن يكون مستوى السائل أعلى من السطح العلوي للألواح بعدة ملليمترات . ولإتمام عملية الشحن بطريقة سليمة يجب مراعاة الآتي :

( أ ) مقدار الكثافة النوعية للحمض .

( ب ) جهد و تيار الشحن .

( ج ) خطوات الشحن .





الشكل (٤٦) الإيرومتر (مقياس الكثافة النوعية للحمض)

- ١ - كرة مطاط  
٢ - إيرومتر  
٣ - أنبوبة شعربة  
٤ - مقياس مدرج

#### (أ) مقدار الكثافة النوعية للحمض :

يمكن قياس الكثافة النوعية للحمض بواسطة جهاز يسمى « الإيرومتر » أو « مقياس الكثافة » . ويوضح شكل (٤٦) طريقة عمل هذا الجهاز . حيث يتم سحب كمية من الإلكتروليت الموجود بالخلية إلى الحيز الأنبوبي الزجاجي الرفيع المدرج الموجود بالجهاز ، بواسطة كرة مفرغة من المطاط مثبتة في طرف الأنبوبة ، ويوجد داخل الأنبوبة جسم عائٍم عليه مقياس مدرج يمكن بواسطته ، وبالإستعانة بالتدريج الموجود على الأنبوبة ، معرفة قيمة كثافة الحمض ، بقراءة العمق الذي يصل إليه هذا الجسم العائم الموجود في الفراغ الأنبوبي المدرج . ولا تعتبر الخلية تامة الشحن إلا إذا وصلت الكثافة النوعية للحمض إلى ١,٢٤ - ١,٢٥ جم / سم<sup>٣</sup> .

#### (ب) جهد وقياس الشحن :

يتم تحديد جهد الشحن للمركم بمعرفة جهد كل خلية وعدد خلايا المركم . وجهد الشحن يساوى حاصل ضرب جهد كل خلية في عدد خلايا المركم الموصلة على التوالي . فإذا كان جهد الخلية ٢,٧ فلف فإن جهد الشحن = عدد الخلايا  $\times ٢,٧$  . أما تيار الشحن فيقوم الصانع بتحديدته في مواصفاته وبياناته التي يجب مراعاتها بكل دقة عند الشحن أو التفريغ لضمان إطالة عمر المركم .

ملحوظة هامة :

لا يصح أن ينخفض جهد مراكم الرصاص في حالة التفريغ عن ١,٨٣ فلف



## ( ج ) خطوات الشحن :

تبدأ عملية الشحن بتسليط جهد الشحن على أقطاب البطارية ، وبعد زمن معين من بداية الشحن يبدأ انبعاث غاز الهيدروجين ، وذلك عندما يبلغ جهد الخلية ٢,٧ فلت . ويستمر غاز الهيدروجين في الانبعاث لفترة معينة حتى يتساوى جهد المركم مع جهد الشحن ، ويجب ألا تقطع عملية الشحن إلا بعد مرور فترة زمنية معينة من لحظة انبعاث الهيدروجين . ويجب ملاحظة أن عملية الشحن الكامل للبطارية لا تتم بمجرد انبعاث الغاز ، أو بمجرد وصول جهد البطارية إلى ٢,٧ فلت . وإنما يتم الشحن الكامل للبطارية عندما تبلغ الكثافة النوعية للمحلول ١,٢٤ - ١,٢٥ جم / سم<sup>٣</sup> ، ولا يتم ذلك إلا بعد مرور فترة زمنية معينة من لحظة انبعاث الهيدروجين ، والتي يفضل تحديدها بالنسبة لكل نوع من أنواع البطاريات .

ويستخدم لهذا الغرض ساعة زمنية يتم تشغيلها بمجرد انبعاث الهيدروجين ، وبعد مرور هذه الفترة الزمنية المحددة تقوم الساعة بقطع تيار الشحن .

## ٢ - شحن المراكم القلوية :

لا يختلف شحن المراكم القلوية كثيرا عن شحن مراكم الرصاص ، فجهود شحن المركم يساوى حاصل ضرب عدد الخلايا في جهد الخلية . كما أن شدة تيار الشحن يحددها الصانع في بيانات ومواصفات المركم ، إلا أن البطاريات القلوية تختلف عن بطاريات الرصاص في أن كثافة الإلكتروليت ( هيدروكسيد البوتاسيوم ) المستخدم فيها تظل ثابتة قبل الشحن وبعده . لذلك يفضل الاعتماد على قيمة جهد الخلايا عند بداية الشحن وعند الانتهاء منه . ويجب شحن البطارية القلوية عند ما يصل جهد الخلية إلى فلت واحد . ويستمر شحن البطارية حتى يصل جهد كل خلية فيها إلى ١,٧٥ فلت في حالة خلية النيكل - كادميوم ، ١,٨٥ في حالة البطاريات النيكل - حديد .

وجدير بالذكر أن المراكم القلوية يمكن أن تبقى مخزونة في حالة عدم شحن ، أو وهي جافة لأي فترة من الزمن ، على عكس الحال في مراكم الرصاص التي يجب شحنها بمجرد تفريغها .

## - سعة المرم :

تعرف سعة المرم بأنها كمية الكهرباء التي يستطيع تخزينها . وهي تساوى حاصل ضرب تيار التفريغ في زمن مروره ، ويكون تمييزها بالأمبير - ساعة . وبمعنى آخر تكون سعة المرم عبارة عن حاصل ضرب معدل التيار الذي يمكن أن نأخذه منه في الزمن الذي يستغرقه مرور هذا التيار .

ومن العوامل التي تحدد سعة المرم : الخدمة وعمر التشغيل .



## - كفاءة المرمك :

هناك نوعان من أنواع الكفاءة بالنسبة للبطاريات ، أحدهما يرجع إلى سعة البطارية بالأمبير - ساعة ، والآخر يرجع إلى سعة البطارية بالواط - ساعة .

### كفاءة البطارية بالأمبير - ساعة :

تعرف كفاءة البطارية بالأمبير - ساعة بأنها خارج قسمة قدرة خرج المرمك بالأمبير - ساعة على قدرة دخل المرمك .

$$\text{كفاءة المرمك ( } \eta \text{ )} = \frac{\text{قدرة خرج المرمك ( أمبير - ساعة )}}{\text{قدرة دخل المرمك ( أمبير - ساعة )}}$$

ويكون متوسط قيمة هذه الكفاءة أو الجودة بالنسبة لمراكم النيكل - كادميوم ٧٥ ، وبالنسبة لمراكم النيكل - حديد ٧٠ . وبالنسبة لمراكم الرصاص ٩٧ .

### كفاءة البطارية بالواط - ساعة :

تعتبر كفاءة البطارية بالواط - ساعة مهمة جدا من الناحية العملية ، وهي تساوى خارج قسمة خرج المرمك بالواط - ساعة ( في حالة التفريغ ) على قدرة دخل المرمك بالواط - ساعة ( في حالة الشحن ) .

$$\text{كفاءة المرمك ( } \eta \text{ )} = \frac{\text{قدرة خرج المرمك بالواط - ساعة ( في حالة التفريغ )}}{\text{قدرة دخل المرمك بالواط - ساعة ( في حالة الشحن )}}$$

وكفاءة المرمك بالواط - ساعة أقل دائما من كفاءته بالأمبير - ساعة ، لأن جهد الشحن يكون عادة أعلى من جهد التفريغ . فإذا كان متوسط جهد الشحن مثلا ١,٦ فلت ، ومتوسط جهد التفريغ ١,١ فلت ، فإن هذا العامل يؤدي إلى انخفاض كفاءة المرمك ( بالواط - ساعة ) بنسبة ٧٠ عن كفاءة المرمك بالأمبير - ساعة . فإذا كانت كفاء المرمك بالأمبير - ساعة مثلا ٩٥ ، فإن كفاءته بالواط - ساعة تكون :

$$= ٩٥ \times ٧ = ٦٧٥ \text{ واط - ساعة}$$

### (٧٧) معدات شحن المراكم :

تشحن المراكم عادة بتيار مستمر يحدد الصانع شدته في مواصفات وبيانات المرمك ، أما جهد الشحن فيساوى حاصل ضرب قيمة جهد كل خلية من الخلايا الموجودة بالمركم في عددها ،

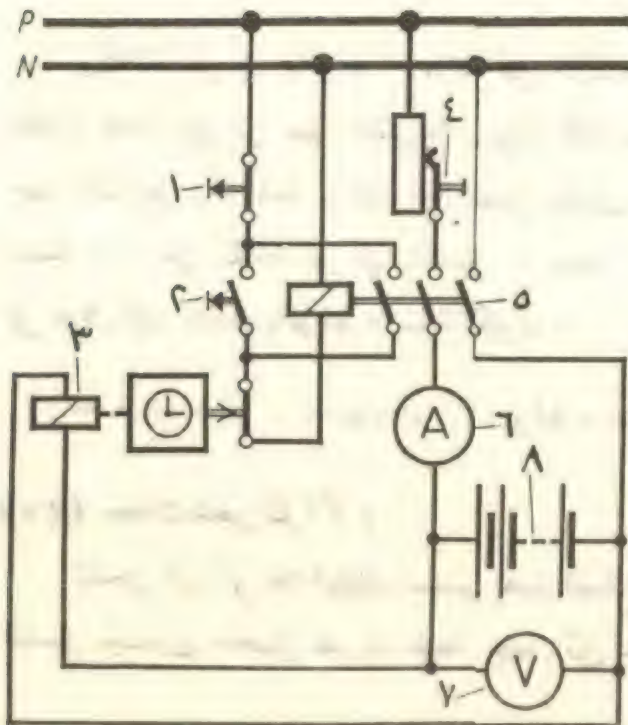


ومن الممكن استخدام معدات شحن بتيار مستمر مباشر أو تيار متردد بعد تحويله إلى تيار مستمر . وفي جميع الأحوال يجب تزويد معدات الشحن بمفتاح يقوم بفصل تيار الشحن عن المركم أتمواتيكيا بعد إتمام عملية الشحن .

#### ١ - معدات شحن بتيار مستمر مباشر :

يبين شكل (٤٧) رسماً لدائرة توصيل إحدى معدات الشحن بتيار مستمر مباشر ، وفيه يظهر المفتاح القاطع ، الذي يتكون عادة من مرحل وساعة زمنية ( بتعويق زمني ) تقوم بتشغيل المفتاح . ويتم الشحن بالطريقة الآتية :

يسلط جهد الشحن على المراكم عن طريق مقاومة متغيرة لضبط الجهد المطلوب للشحن ، وتوصل هذه المقاومة على التوالي بالبطارية عن طريق المفتاح القاطع . يقوم هذا المفتاح بتوصيل الدائرة بمجرد الضغط عليه . وتستمر عملية الشحن حتى يصل جهد كل خلية من خلايا المراكم إلى ( ٢,٤ - ٢,٧ فلت ) ( في مراكم الرصاص مثلاً ) ، وعندئذ يتصاعد غاز الهيدروجين . وحيث أن عملية الشحن لا تتم إلا بعد مرور فترة زمنية معينة من وصول جهد الخلايا إلى الجهد المقنن ( ٢,٤ فلت - ٢,٧ فلت ) لتصل كثافة الإلكتروليت إلى ١,٢٤ - ١,٢٥ جم/سم<sup>٣</sup> لذلك يقوم المرحل بتشغيل الساعة الزمنية عندما يتساوى جهد الخلية مع جهد الشحن . وبعد مرور هذه الفترة الزمنية المعينة تقوم الساعة بتشغيل المفتاح لفصل دائرة الشحن ، وبذلك يمكن التأكد من إتمام الشحن بالطريقة المثل .



الشكل (٤٧) دائرة شحن البطاريات

باستخدام مصدر لتيار المستمر

١ - مفتاح سكين للفصل

٢ - مفتاح سكين للوصل

٣ - مفتاح زمني بمرحل

٤ - مقاومة صغيرة

٥ - مفتاح تلامس

٦ - أميتر

٧ - فلتومتر

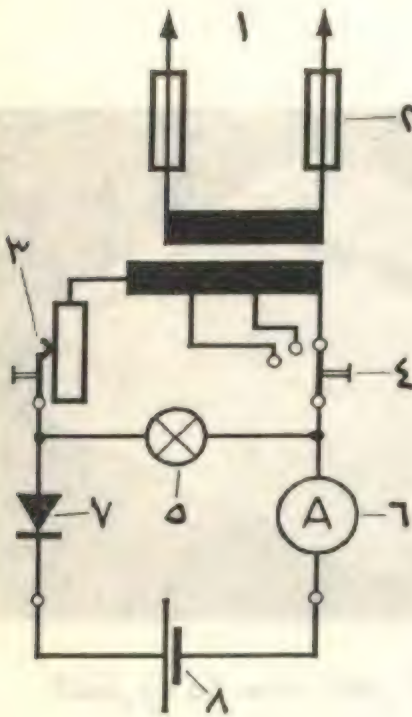
٨ - المراكم المراد شحن



## ٢ - معدات شحن بتيار مستمر ناتج من تقويم تيار متردد :

يبين شكل (٤٨) إحدى دوائر معدات الشحن التي تعمل بالتيار المتردد ، ويتم فيها تقويم التيار المتردد وتحويله إلى تيار مستمر بواسطة مقومات شبه موصلة ( من النوع الجاف ) ، أو مقومات بالتفريغ الغازي ( الحراري الأيوني ) . ويكون هذا التقويم إما نصف موجي أو بموجة كاملة . وتستخدم في الحالة الأخيرة مرشحات مناسبة لتنعيم التيار المستمر الناتج من عملية التقويم .

وهناك طريقتان لتغيير قيمة جهد الشحن المطلوب بالتيار المتردد الأولى باستخدام محول به نقط توصيل بينية ، يمكن عن طريقها الحصول على جهود شحن مختلفة . أما الطريقة الثانية فهي مشابهة تماما لتلك المستخدمة في معدات الشحن بالتيار المستمر ، أي تستخدم مقاومة متغيرة موصلة على التوالي بالمراكم المراد شحنها . وبالرغم من سهولة الطريقة الأخيرة إلا أن الفقد في المقاومات يعتبر كبيرا جدا إذا قيس بالفقد الناتج في الطريقة الأولى التي تستخدم فيها محولات بنقط توصيل بينية .



الشكل (٤٨) دائرة شحن للبطاريات باستخدام

مصدر للتيار المتردد

١ - مصدر التيار المتردد

٢ - مصاهر

٣ - مقاومة متغيرة

٤ - مفتاح لانتقاء الجهد اللازم

٥ - مصباح بيان

٦ - أميتر

٧ - مقوم

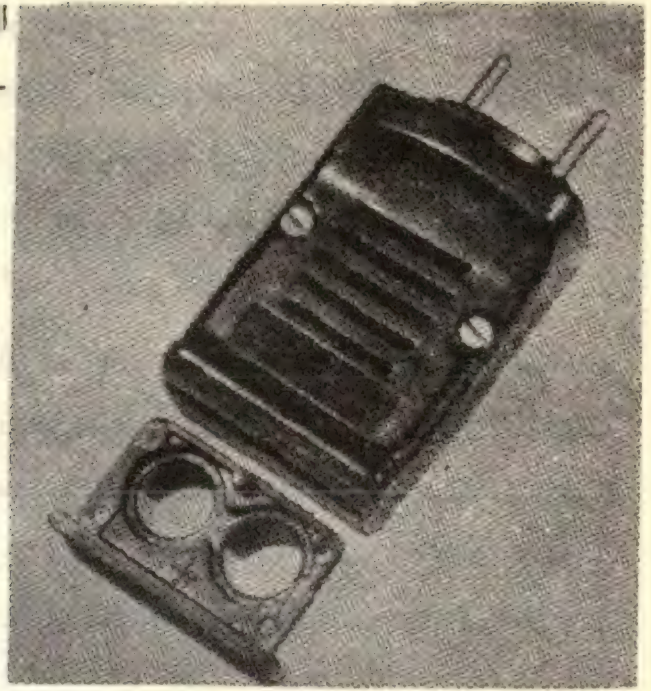
٨ - المراكم المراد شحنها

## - أنواع معدات الشحن :

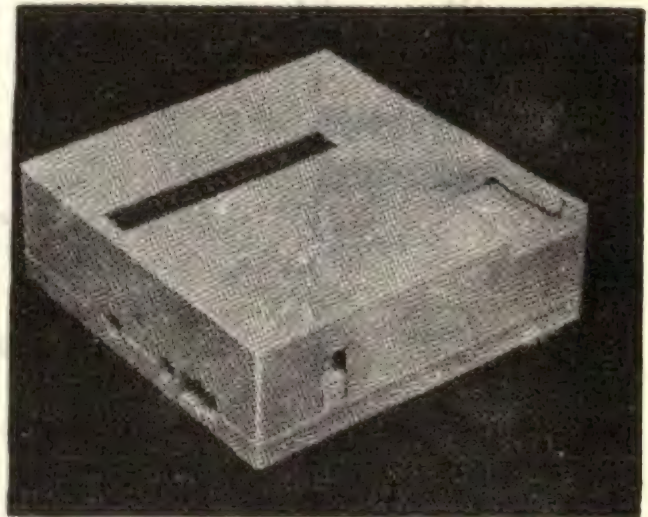
تبين الأشكال من ٤٩ إلى ٥١ عددا من المعدات المستخدمة في شحن المراكم والبطاريات المختلفة ، ومن المعروف أن هناك العديد من معدات الشحن التي تلائم جميع أنواع المراكم ، سواء أكانت هذه المراكم حمضية ( مراكم رصاص ) أم قلوية ( مراكم النيكل - كادميوم ) ، وسواء أكانت ثابتة مثل مراكم التليفونات ومراكم الإضاءة في الطوارئ أم نقالي مثل مراكم العربات والمركبات . كما توجد معدات لشحن البطاريات الخاصة بأجهزة السمع أو أي نوع آخر من البطاريات .



الشكل (٤٩) معدات شحن البطاريات النيكل  
- كادميوم الصغيرة التي على شكل زرار .



الشكل (٥١) معدات شحن البطاريات  
المستخدمة في بدء تشغيل العربات



الشكل (٥٠) معدات شحن البطاريات  
المستخدمة في التصوير .



## الباب الثالث

### نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية

(٢٨) نظم النقل والتوزيع بجهد عال أو بجهد منخفض :

تنقل الطاقة الكهربائية من محطة توليد القدرة الكهربائية إلى المستهلك بواسطة خطوط أو موصلات يطلق عليها اسم شبكات النقل والتوزيع الكهربائية أو نظم النقل والتوزيع .

ويبين شكل (٥٢) رسماً تخطيطياً لشبكة النقل والتوزيع للطاقة الكهربائية ، والتي تبدأ من محطة توليد القدرة الكهربائية إلى المستهلك . ويظهر في الرسم وسائل التحكم والإشراف المستخدمة لتحديد الأخطاء وضمان أداء هذه الشبكات بكفاءة عالية . وتنقسم نظم نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية إلى :

( أ ) نظم النقل والتوزيع بالجهد العالي .

( ب ) نظم النقل والتوزيع بالجهد المنخفض .

( أ ) نظم النقل والتوزيع بالجهد العالي :

تطلق عادة على الجهود التي تزيد على فلتواحد اسم « جهود الضغط العالي » . وتستخدم الجهود العالية في نقل الطاقة لمسافات بعيدة لتقليل الفقد ثم يخفض الجهد بواسطة محولات قدرة لتوزيع الطاقة بعد ذلك بشبكات الجهد المنخفض . غير أن الكثير من المصانع الكبيرة تغذى عن طريق شبكات الجهد العالي مباشرة . ويتم في هذه المصانع تحويل الجهد العالي إلى جهد منخفض بواسطة محطة محولات خاصة داخل هذه المصانع .

والجهود المقنتنة المستخدمة في الجهد العالي هي :

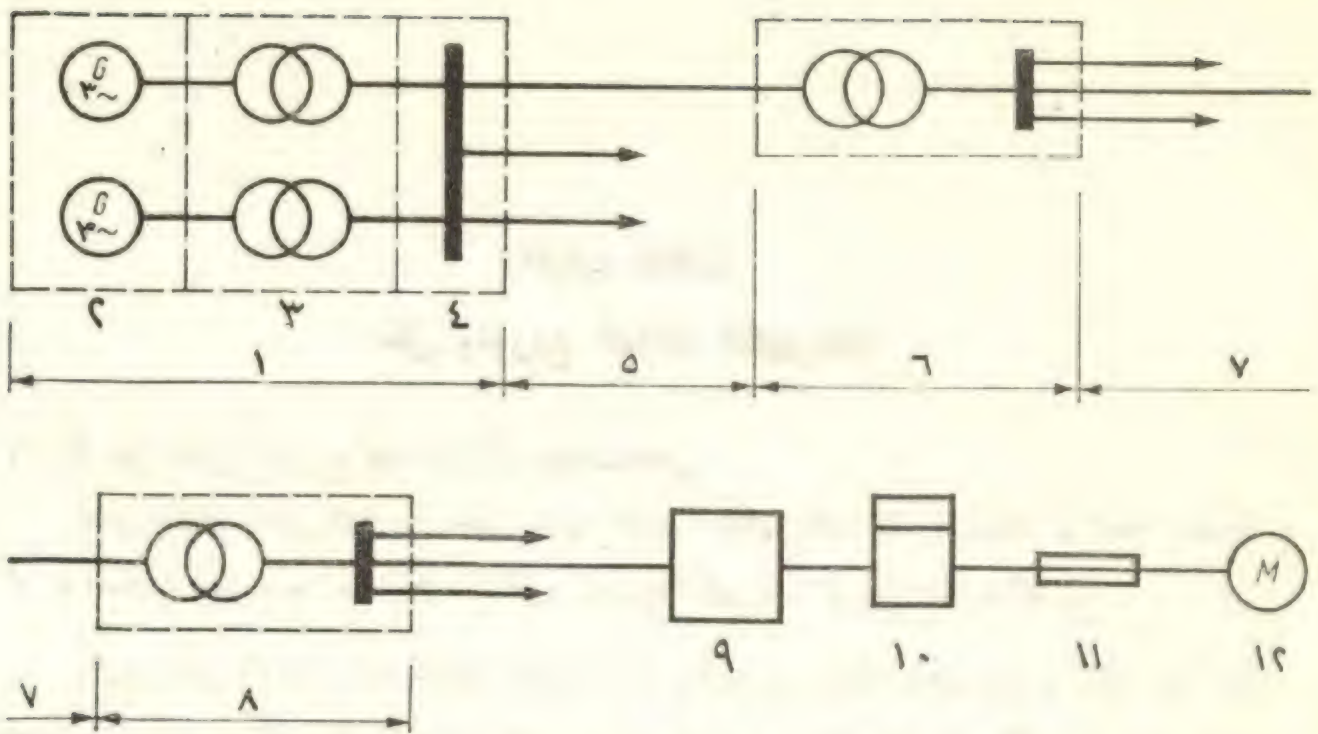
٣ ، ٥ ، ٦ ، ١٠ ، ١٥ ، ٢٠ ، ٣٠ ، ٦٠ ، ١١٠ ، ٢٢٠ ، ٣٠٠ ، ٣٨٠ ك . ف .

والاتجاه السائد حالياً هو عدم إقامة أى شبكات توزيع بجهد عال يقل جهداً عن ٣٠ ك . ف . ومن جهة أخرى لا ينصح بإقامة نظم للنقل والتوزيع يزيد جهداً على ٣٨٠ ك . ف . ، حيث أن مثل هذا النظام يصادف صعوبات كثيرة وخاصة بالنسبة لعزل الموصلات .

( ب ) نظم النقل والتوزيع بالجهد المنخفض :

يطلق على الجهود التي تزيد على ١٠٠٠ فلت « جهود الضغط المنخفض » . وتوزع الطاقة الكهربائية على معظم المستهلكين العاديين بجهود الضغط المنخفض .





الشكل (٥٢) كيفية توصيل الطاقة الكهربائية من محطة توليد القدرة إلى المستهلك .

- ١ - معدات محطة القدرة
- ٢ - مولدات ( يتر اوح جهدها بين ٦ ك . ف ، ١٠ ك . ف )
- ٣ - محولات قدرة ( لا يزيد جهدها على ٣٨٠ ك . ف )
- ٤ - محطة المفاتيح وقضبان التوزيع .
- ٥ - شبكة الجهد العالي .
- ٦ - محطة المحولات و مجموعة مفاتيح التوزيع ( للجهد المتوسط )
- ٧ - شبكة الجهد المتوسط .
- ٨ - محطة المحولات و مجموعة مفاتيح التوزيع ( للجهد المنخفض )
- ٩ - شبكة الجهد المنخفض .
- ١٠ - التوصيلات المنزلية
- ١١ - العدادات الكهربائية
- ١٢ - الأجهزة المنزلية

ويفضل عادة ألا يزيد طول خط التوزيع المستخدم في نظم التغذية بالجهد المنخفض ابتداء من محطة المحولات إلى المستهلك على كيلو متر واحد ، وذلك لتقليل الفقد الناتج في موصلات الجهد المنخفض ، حيث أن شدة التيار المار في موصلات الجهد المنخفض كبيرة ومساحة مقطع الموصلات صغيرة نسبياً .

وتعتبر الجهد المقتنة الآتية أكثر الجهود استخداماً في نظم التغذية بالجهد المنخفض :

الجهود المستخدمة في نظام التوزيع بالتيار المستمر ١١٠ ، ٢٢٠ ، ٤٤٠ فلت

والجهود المستخدمة في نظام التوزيع بالتيار المتردد ١٢٥ - ٢٢٠ - ٣٨٠ - ٥٠٠ فلت .

وقد تقسم جهود النقل والتوزيع في بعض الأحيان إلى :

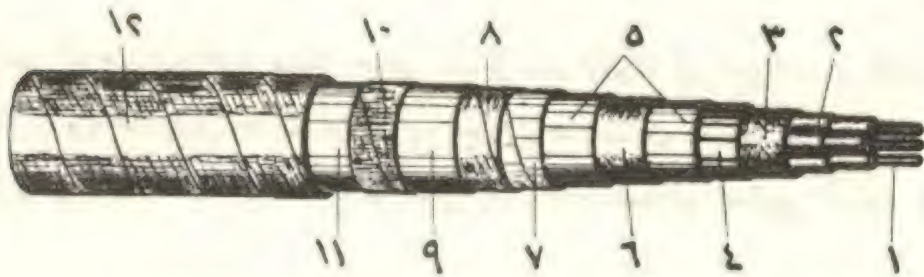
- جهد منخفض ، وهو الذي لا تزيد قيمته على ١ ك.ف .
- جهد متوسط ، وهو الذي تتراوح قيمته بين ١ ك.ف ، ٣٠ ك.ف .
- جهد عال ، وهو الذي تتراوح قيمته بين ٣٠ ك.ف ، ٣٨٠ ك.ف .

وتتركب نظم النقل والتوزيع إما من كبلات مدفونة في الأرض أو من موصلات علوية ( خطوط هوائية ) . وتنقل الطاقة الكهربائية في نظام الجهد العالى أساسا بواسطة الخطوط الهوائية ، غير أن هناك بعض الأحوال الخاصة التي تستخدم فيها الكبلات لنقل الطاقة في نظم الجهد العالى .

أما في نظام الجهد المنخفض فتستخدم الكبلات أساسا في النقل والتوزيع . وقد تستخدم الخطوط الهوائية في بعض الأحيان خارج المدن وفي الأماكن المكشوفة ، وذلك تبعا لظروف التشغيل المحلية المختلفة .

### (٢٩) الكبلات الأرضية :

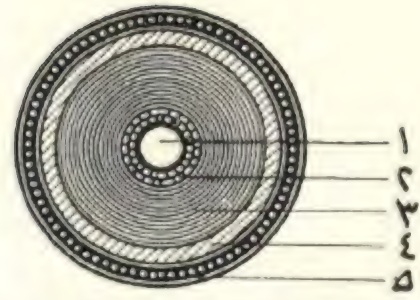
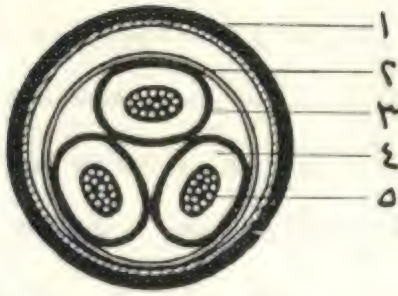
يبين شكل (٥٣) تصميم لكبل أرضي مكون من ثلاثة موصلات . ويستخدم النحاس عادة كموصل في الكبلات الأرضية ، وقد يستخدم الألومنيوم حاليا كبديل للموصلات النحاسية في بعض الكبلات . ويلاحظ من الرسم أن جميع الموصلات في الكبل تكون معزولة تماما ، كما يعزل الكبل من الخارج لمنع حدوث أى تيار قصر أو تيار تسرب بين الموصلات بعضها وبعض ، أو بين الموصلات والأرض . وتتميز كبلات الجهد العالى عن كبلات الجهد المنخفض بقوة عزل كهربائية عالية . وهناك عدة أنواع من كبلات الجهد العالى أهمها :



الشكل (٥٣) تصميم كبل أرضي للجهد العالى

- |                     |                                |
|---------------------|--------------------------------|
| ١ - موصل الكبل      | ٧ - ورق مشرب بالزيت            |
| ٢ - ورق مشرب بالزيت | ٨ - شريط من الصلب لحماية الكبل |
| ٣ - عازل بيتومين    | ٩ - مركب عازل                  |
| ٤ - غطاء من الرصاص  | ١٠ - شريط مشرب بالعازل         |
| ٥ - مركب عازل       | ١١ - مركب عازل                 |
| ٦ - غطاء من المطاط  | ١٢ - شريط مضفر                 |





- الشكل (٥٥) قطاع في كبل أرضي بغاز مضغوط
- ١ - أنبوبة من الصلب معزولة من الداخل
  - ٢ - حامل للأسلاك المعزولة
  - ٣ - غطاء من الرصاص يحيط بالموصلات
  - ٤ - عازل
  - ٥ - موصلات

- الشكل (٥٤) مقطع لكبل أرضي مملوء بالزيت
- ١ - ماسورة (مجرى) للزيت
  - ٢ - موصل متعدد الأسلاك
  - ٣ - عازل
  - ٤ - شريط من الرصاص
  - ٥ - شريط من الصلب لحماية الكبل

#### (أ) الكبلات المملوءة بالزيت :

يبين الشكل (٥٤) كبلًا مملوءًا بالزيت ، وفيه يلعب الزيت دورًا هامًا في عمل طبقة عازلة رقيقة بين الموصلات تتميز بمستوى عزل عال .

#### (ب) كبلات الغاز المضغوط :

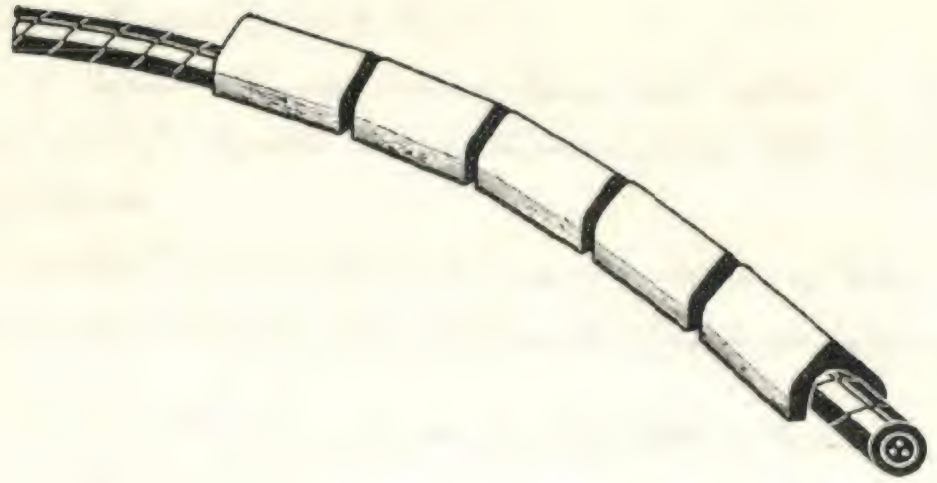
وفيها توضع الموصلات المعزولة داخل أنبوبة من الصلب مملوءة بالهواء ( تحت ضغط يتراوح بين ٨ ، ١٥ ضغط جوى ) ، أو بغاز النيتروجين ( تحت ضغط يتراوح بين ٤ ، ١٤ ضغط جوى ) .

ويفيد وضع الموصلات تحت ضغط جوى عال في منع تكون أى فجوات أو فقاعات هوائية في المواد العازلة ، وبذلك يمنع حدوث أى تفريغ بين الموصلات في هذه الكبلات ، ومن المعروف أن مستوى العزل في كبلات الغاز المضغوط يصل إلى ثلاثة أضعاف مستوى العزل في الكبلات العادية .

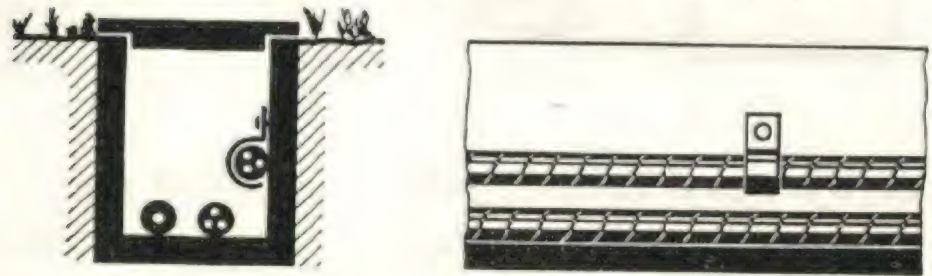
#### - طرق وضع الكبلات في الأرض :

عند وضع الكبلات في الأرض سواء في نظم التوزيع بالجهد المنخفض أو بالجهد العالى يراعى الآتى :

- ١ - يجب دفن الكبلات على عمق يزيد على العمق الذى تصل إليه عمليات الحفر العادية (مد مواسير المياه في الأرض ، مثلاً) .
- ٢ - يجب حماية الكبلات من التلف الميكانيكى أثناء عمليات الحفر بوضعها داخل غلاف حجري ، كما في شكل (٥٦) ، أو في مجارى أو خنادق مصممة لهذا الغرض كما في شكل (٥٧) .



الشكل (٥٦) كبل أرضي محمي داخل غطاء حجري على شكل قلنسوة



الشكل (٥٧) كبل أرضي موضوع داخل خندق (مجرى أرضية)

### (٣٠) الخطوط الهوائية :

تستخدم الموصلات الألومنيوم حالياً في الخطوط الهوائية لشبكات النقل خفة وزنها وقلة تكاليف تركيب وإنشاء الأبراج الحاملة لها . فن المعروف أن استخدام الموصلات النحاسية في الخطوط الهوائية يؤدي إلى زيادة كبيرة في تكاليفها وتكاليف إنشاء الأعمدة والأبراج الحاملة لها . ويعيب الموصلات الألومنيوم أن مقاومتها النوعية أعلى من المقاومة النوعية للموصلات النحاسية ، وأن مقدار الارتخاء في الخطوط الألومنيوم يتغير تغيراً كبيراً باختلاف درجات الحرارة وأن قوة شدتها صغيرة ..

لذلك يجب مراعاة ما يلي عند تركيب الموصلات الألومنيوم في الخطوط الهوائية .

- ( أ ) أن تكون قوة الشد المسلطة على الموصلات الألومنيوم صغيرة نسبياً .
- ( ب ) أن تكون المسافة بين الموصلات ( الخطوط ) أكبر ما يمكن وذلك لأسباب اقتصادية .
- ( ج ) أن يكون الارتخاء مطابقاً للأبعاد القياسية ، علماً بأن هذا الارتخاء يتغير تغيراً كبيراً باختلاف درجات الحرارة .

وفيما يلي وصف مبسط للأجهزة والمواد والمعدات المستخدمة في تركيب الخطوط الهوائية .



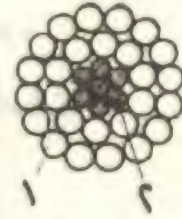
### ( أ ) الموصلات الألومنيوم المستخدمة في الخطوط الهوائية :

يفضل دائماً أن تزود الموصلات الألومنيوم بأسلاك من الصلب لزيادة قوة شدها . وتبين الأشكال من (٥٨) إلى (٦٠) أنواع الموصلات الألومنيوم المستخدمة في الخطوط الهوائية والمزودة بأسلاك من الصلب لزيادة قوة شدها .

يبين شكل (٥٨) موصلات ألومنيوم مصمتة ومجدولة ، ويوجد بوسطها سلك من الصلب .  
ويبين شكل (٥٩) موصلات ألومنيوم مفرغة ومجدولة يوجد بداخلها شريط ملولب من الصلب .  
ويبين شكل (٦٠) موصلات ألومنيوم مفرغة ومجدولة ومقواه بأسلاك من الصلب مدفونة داخل طبقة الألومنيوم التي تشكل محيط الموصل .



الشكل (٥٩) أسلاك ألومنيوم مجوفة ومجدولة  
وبداخلها شريط صلب ملفوف لتقوية :  
١ - الموصل الألومنيوم  
٢ - الشريط الصلب الملفوف



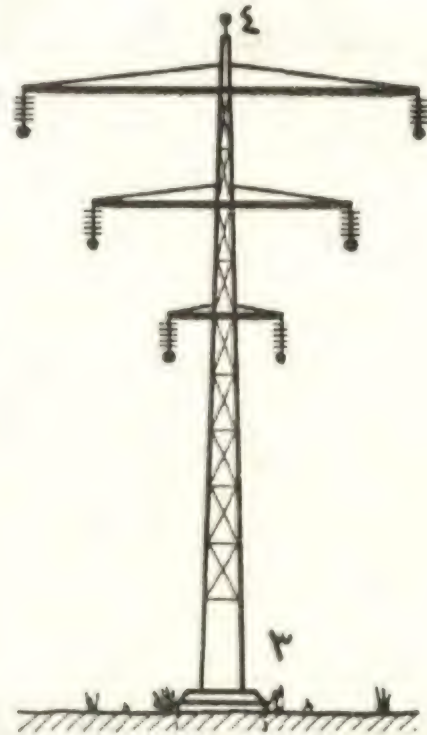
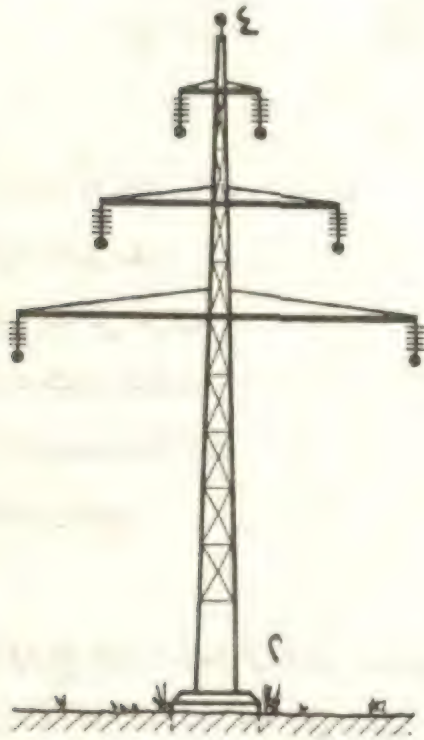
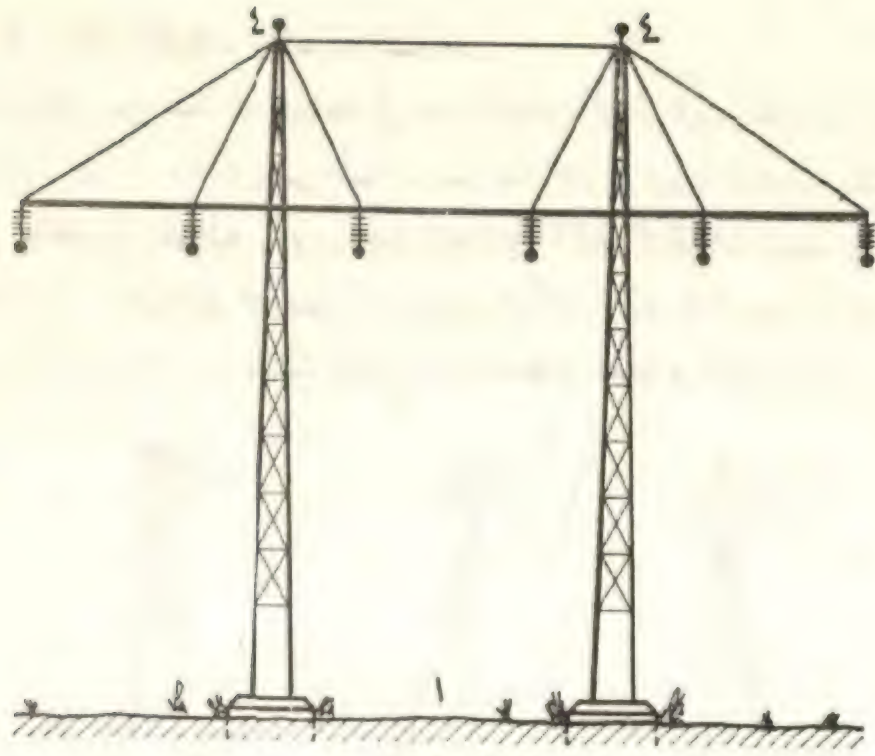
شكل (٥٨) موصلات ألومنيوم مجدولة يمر  
في قلبها سلك صلب لتقويتها .  
١ - الموصلات الألومنيوم  
٢ - الأسلاك الصلب .



الشكل (٦٠) موصل أجوف من الألومنيوم ، يوجد بالخامة التي  
تشكل محيطه أسلاك من الصلب مدفوعة فيه لتقويته .

### ( ب ) الأبراج والأعمدة المستخدمة في التركيبات الكهربائية للخطوط الهوائية :

تستخدم الأبراج الحديدية ذات التصميم التشابكي أو الأبراج الحديدية المقواة بدعائم ، في حمل الخطوط الهوائية لنقل الطاقة الكهربائية بجهد عال ، بينما تستخدم الأعمدة الخشبية والحرسانية عادة في حمل الخطوط الهوائية لنقل الطاقة بجهد منخفض . ويبين الشكل (٦١) عدة أنواع من الأبراج الحديدية ذات التصميم التشابكي (المزودة بدعائم تقوية) والمستخدم في الجهد العالي . ويبين الشكل (٦٢) بعض أنواع الأعمدة الخشبية ، مثل أعمدة التعليق أو الأعمدة المثبتة بدعائم أو الأعمدة المزدوجة . . . إلخ ، والمستخدم في الجهد المنخفض . وحيث أن هذه الأعمدة تستخدم بصفة رئيسية في حمل الموصلات ، لذلك يفضل تثبيتها بطريقة تمكنها من تحمل الإجهادات الناتجة من الشد الذي تسببه هذه الموصلات .



الشكل (٦١) أشكال الأبراج الحديدية ذات التصميم التشابكي

١ - برج بابي ( على هيئة باب )

٢ - برج على هيئة شجرة الأرض

٣ - برج على هيئة شجرة الأرض المقلوبة

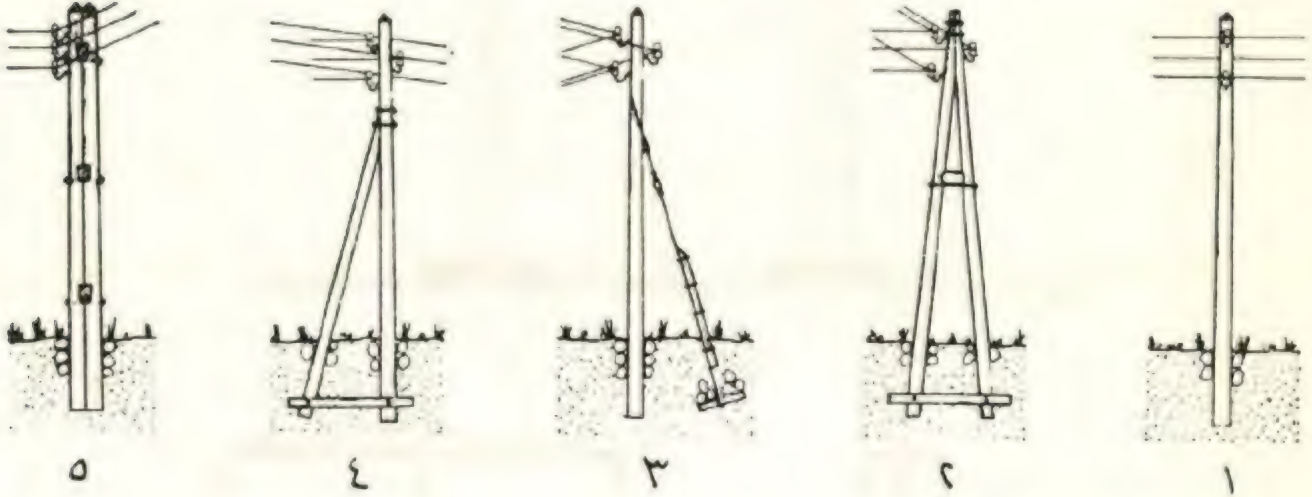
٤ - كبلات للتأريض ( توضع أعلى البرج لحمايته من الصواعق ، كما تستخدم في التأريض

لضمان السلامة )



### (ج) العوازل وأكمام الكبلات والمعدات المساعدة :

يستخدم الكثير من المعدات المساعدة في مد الكبلات أو تركيب الخطوط الهوائية . وتبين الأشكال ( ٦٣ ، ٦٤ ، ٦٥ ) بعض المعدات المساعدة اللازمة لعملية إنشاء وتركيب نظم التغذية بالكبلات أو بالخطوط الهوائية . ومن هذه المعدات أكمام الكبلات المبينة في شكل (٦٣) (الأكمام لمقارنة) ، وصناديق التوصيل ، ونهايات الكبلات ، وكذلك عوازل الشد ، وعوازل التعليق المبينة في شكل (٦٤) ، ونهايات التفرع ، والقامطات المبينة في شكل (٦٥) .



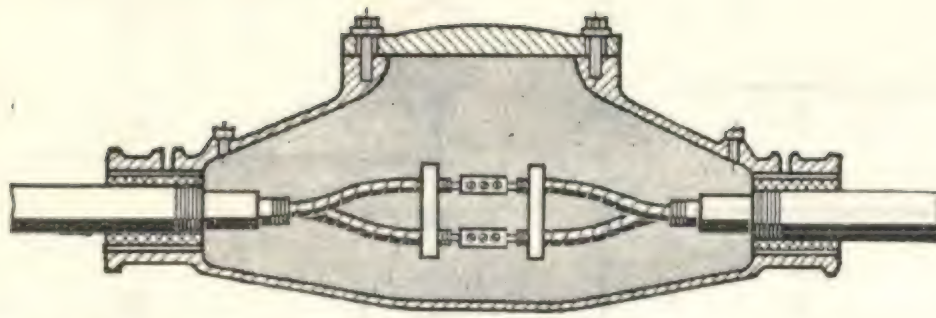
الشكل (٦٢) أشكال الأعمدة الخشبية

- ١ - عمود تعليق مفرد
- ٢ - عمود بشكل حرف A
- ٣ - عمود مثبت بدعامات
- ٤ - عمود مثبت بشكالات
- ٥ - عمود مزدوج

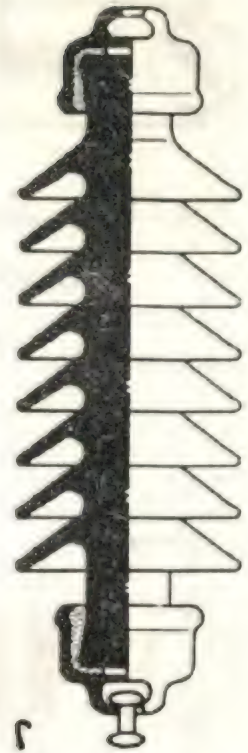
### (٣١) نظم التوزيع بتيار متردد أو بتيار مستمر :

يوجد من الناحية العملية عدة نظم لنقل وتوزيع الطاقة الكهربائية من المولدات مباشرة . وفيما يلي مسح لأكثر نظم التوزيع المستخدمة شيوعاً ، مع ملاحظة أن بعض هذه النظم لا يستخدم حالياً في تركيب أو إنشاء شبكات التغذية الجديدة .

- نظم توزيع التيار المستمر :  
تبين الأشكال ( ٦٦ إلى ٦٩ ) النظم المختلفة لتوزيع التيار المستمر .
- نظم توزيع التيار المتردد :  
تبين الأشكال ( ٧٠ إلى ٧٣ ) النظم المختلفة لتوزيع التيار المتردد .



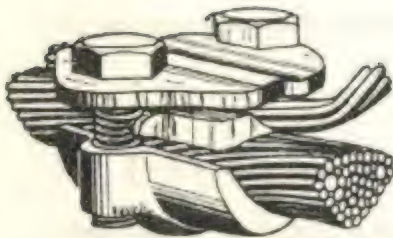
شكل (٦٣) كم قارن للكابل (ترتبية لتوصيل كبلين معا)



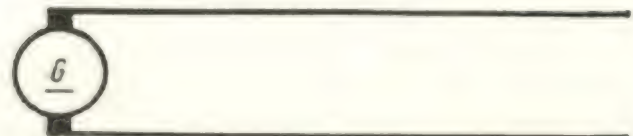
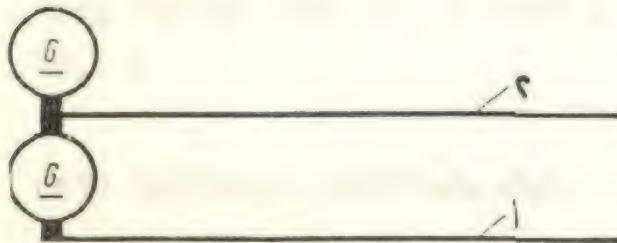
الشكل (٦٤) العوازل

١ - عازل شد

٢ - عازل تعليق ( ذو طاقة ومسمار )



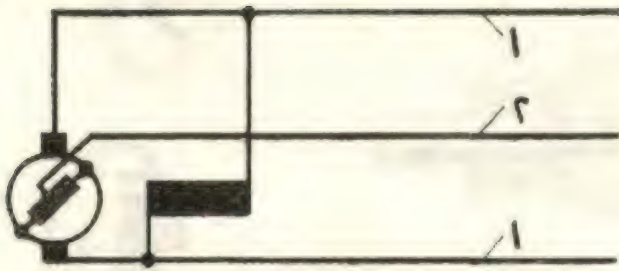
الشكل (٦٥) قامطة مخلفية للخطوط الهوائية



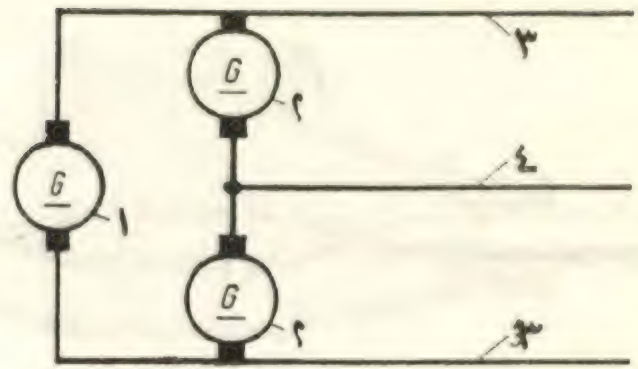
الشكل (٦٧) نظام تيار مستمر بثلاثة أسلاك. يمكن الحصول على هذا النظام بتوصيل مولدين على التوالي  
١ - الموصلات الخارجية ٢ - الموصل المتعادل

الشكل (٦٦) نظام تيار مستمر بسلكتين

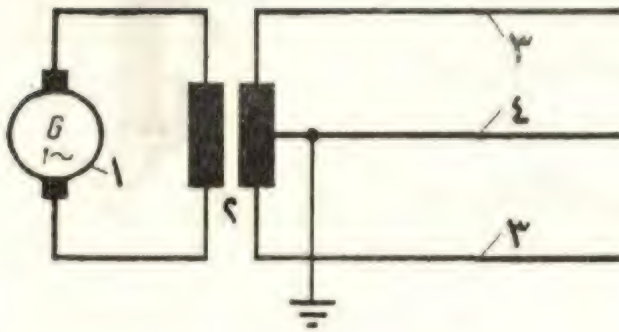




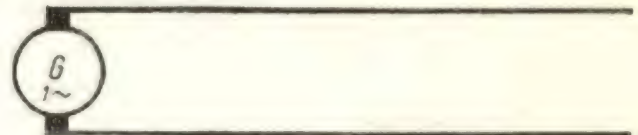
الشكل (٦٩) نظام تيار مستمر بثلاثة أسلاك  
يستخدم فيه المولد الثلاثي الأسلاك  
١ - الموصلات الخارجية  
٢ - الموصل المتعادل



الشكل (٦٨) نظام تيار مستمر بثلاثة أسلاك  
تستخدم فيه المولدات الموازنة  
١ - المولد الرئيسي  
٢ - المولدات الموازنة  
٣ - الموصلات الخارجية  
٤ - الموصل المتعادل



الشكل (٧١) نظام وحيد الطور بثلاثة أسلاك  
باستخدام محول  
١ - مولد  
٢ - محول  
٣ - الموصل الرئيسي  
٤ - الموصل المتعادل



الشكل (٧٠) نظام توليد وحيد الطور بسلتين  
باستخدام مولد بسلتين. ويستعمل هذا النظام  
أساسا في الجركهربائي في بعض بلدان أوروبا  
الوسطى لتوليد تيار متردد (  $\frac{2}{3}$  ) ١٦ ذبذبذبة في  
( الثانية )

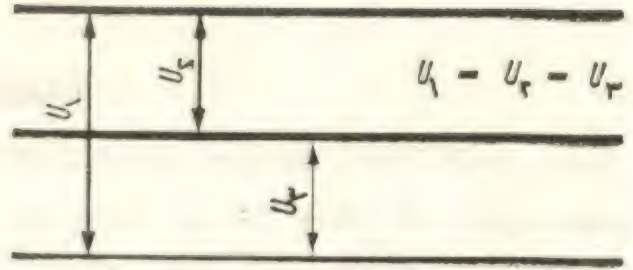
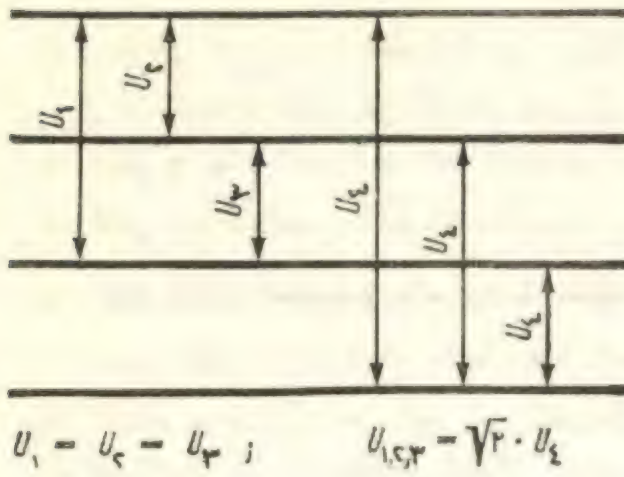
### (٣٢) شبكات توزيع الطاقة الكهربائية :

تنقل الطاقة الكهربائية ، وتوزع بواسطة شبكات تغذية مكونة من موصلات مركبة بطرق مختلفة . وفيما يلي موجز لمتطلبات اللازم توافرها في شبكات التغذية وأنواعها المختلفة .

المتطلبات اللازم توافرها في شبكات التغذية المختلفة :

يجب أن تتوفر المتطلبات الآتية في شبكات التغذية .

( ١ ) أن تكون لديها قدرة عالية للأداء والخدمة المستمرة .



الشكل (٧٣) نظام ثلاثى الأطوار بأربعة أسلاك  
١ - الموصل الرئيسى ٢ - الموصل المتعادل

الشكل (٧٢) نظام ثلاثى الأطوار بثلاثة أسلاك

(ب) أن تكون مصممة بحيث تقلل من عدد الأخطاء والاضطرابات والحلل والأعطال التي تحدث فيها . وأن يكون بها وسائل للتحكم والإشراف ، وأن تصمم بطريقة تسهل تحديد مواقع الأخطاء التي قد تحدث مع إمكان حصرها في أضيق نطاق .

(ج) ألا تؤدي إلى هبوط الفلطية (أى أن يبقى جهد التوزيع ثابتاً ما أمكن) .

(د) ألا تؤدي إلى زيادة كبيرة في تكاليف نقل الطاقة وتوزيعها (أى تكون تكاليف إنشائها وصيانتها اقتصادية) .

(هـ) أن يكون تصميم الشبكة بحيث يسمح بعمليات التوسع في مدها مستقبلاً .

ومن المعروف أن هذه المتطلبات كلها لا يمكن تحقيقها جميعاً في كافة الظروف ، لذلك تصمم شبكات التغذية لتتناسب مع هذه المتطلبات كلما أمكن ذلك .

### أنواع شبكات النقل والتغذية :

فيما يلي شرح لأكثر أنواع الشبكات انتشاراً ، مع شرح مبسط لمزايا وعيوب كل منها :

#### ١ - نظام التغذية نصف القطرى : ( شبكة التغذية الإشعاعية )

يبين شكل (٧٤) شبكة توزيع إشعاعية ( نصف قطرية ) ، وهى إحدى نظم التغذية المفتوحة التي تم فيها عملية التغذية من جانب واحد ، وفيها تخرج الخطوط المختلفة إلى مواقع الاستهلاك من نقطة واحدة . ويعيب هذا النظام أنه إذا حدث قطع أو خلل أو اضطراب أو قصر دائرة في أية نقطة بالشبكة ، فإنه يؤدي إلى انقطاع التيار عن جزء كبير من المستهلكين . ويزيد عدد المستهلكين الذين يتأثرون بانقطاع التيار كلما كانت نقطة الخطأ أو الاضطراب قريبة من نقطة التغذية



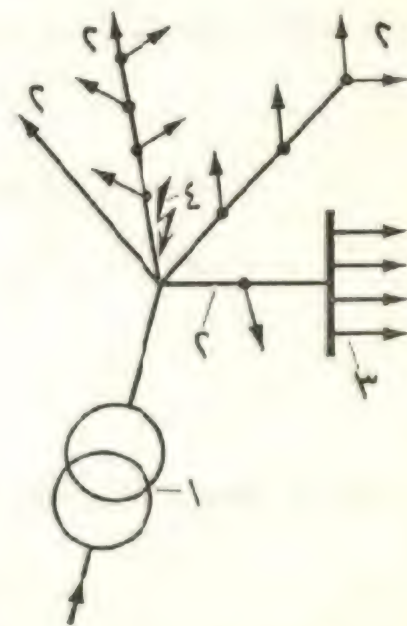
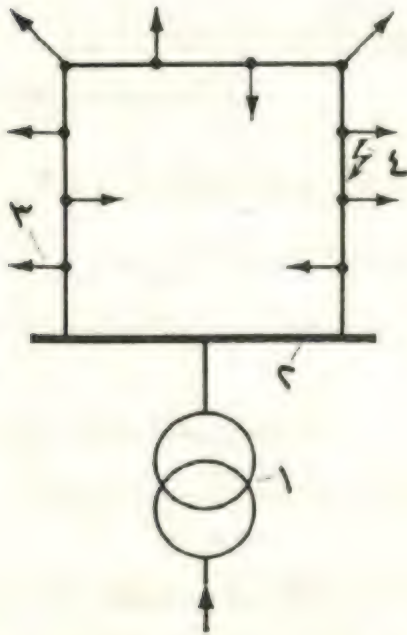
الرئيسية التي تخرج منها خطوط التغذية . ومثل هذه الشبكات لا تستخدم في تغذية المصانع الكبيرة ، حيث أن انقطاع التيار عن المصانع يؤدي إلى خسارة جسيمة ونقص في الإنتاج ويفضل استخدام هذه النظم في تغذية المنازل والمحال التجارية الصغيرة التي لا تتأثر كثيراً عند إنقطاع التيار . وتتميز هذه النظم بقلّة تكاليف إنشائها وصيانتها .

## ٢ - نظام التغذية الحلقية ( نظام التغذية بالحلقة المغلقة ) :

يبين شكل (٧٥) شبكة حلقية مغذاة بواسطة محول ، وهي إحدى نظم التغذية المغلقة . ويتميز هذا النظام بعدم تأثر عدد كبير من المستهلكين عند حدوث أى عطل أو قطع أو اضطراب يؤدي إلى قطع التيار عند أى نقطة من الشبكة . ويعيب هذا النظام ارتفاع تكاليف إنشائه وصيانتها . ويفضل في نظام التغذية الحلقى مراعاة أبعاد وأطوال الموصلات المستخدمة فيه وحسابها بدقة بحيث لا يؤدي صغر مساحة مقطع الموصلات إلى انخفاض الجهد لدى المستهلكين الموجودين في نهاية الحلقة ، وخاصة إذا حدث الخطأ أو القطع عند نقطة من النقاط القريبة من القضبان الرئيسية .

## ٢ - نظام التغذية النجمي :

يبين شكل (٧٦) نظام التغذية النجمي ، وهذا النظام يجمع بين مميزات الشبكات الحلقية والإشعاعية . ويستخدم مثل هذا النظام لتغذية الأحمال المتغيرة حيث يسمح بإضافة بعض المحولات إلى الشبكة في حالة زيادة الحمل في منطقة معينة ، كما يسمح بفصلها في حالة نقص الحمل . ويعيب هذا النظام زيادة تكاليف إنشائه .

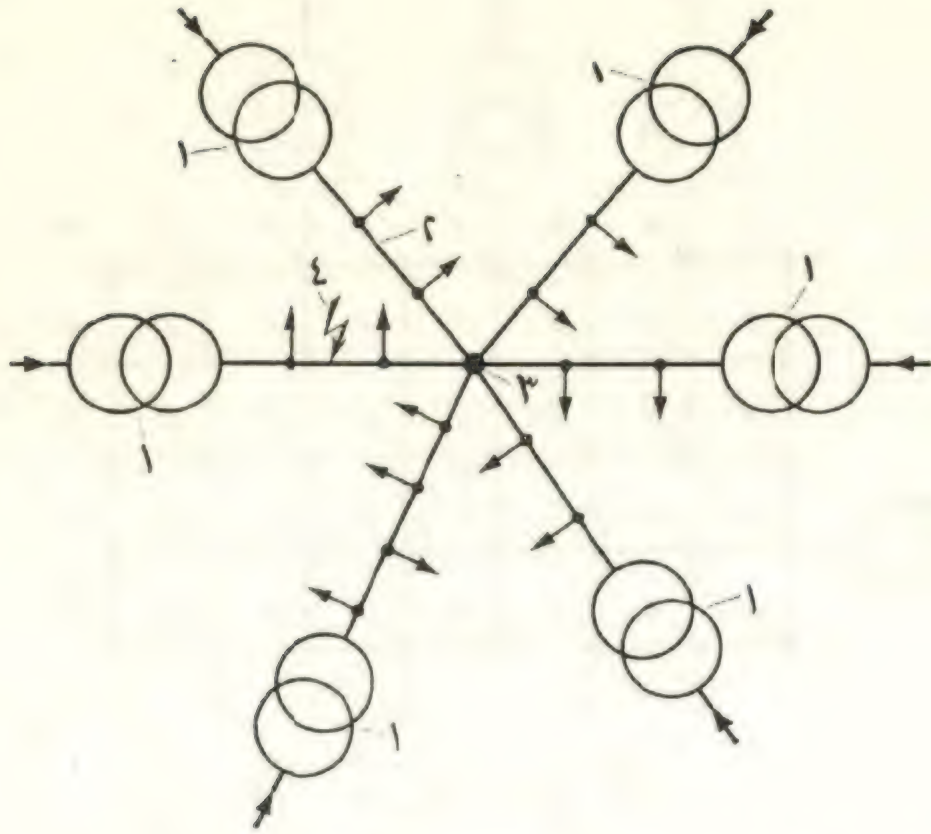


الشكل (٧٥) نظام التغذية الحلقى (شبكة حلقية)

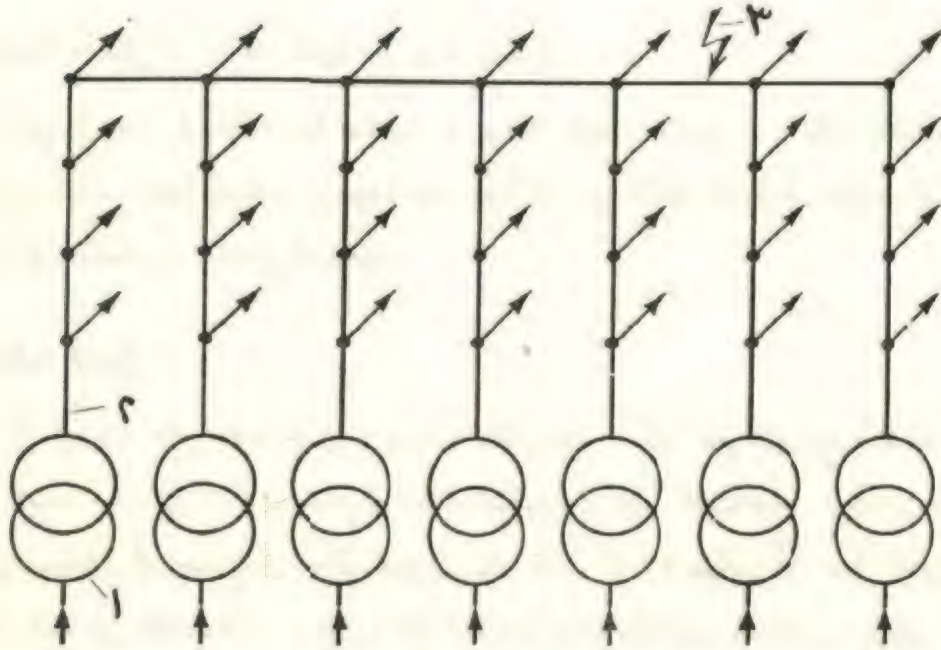
- ١ - محول تغذية .
- ٢ - قضبان مجمعة للتغذية
- ٣ - فرع
- ٤ - موضع الخطأ

الشكل (٧٦) نظام التغذية الإشعاعى (شبكة إشعاعية)

- ١ - محول تغذية
- ٢ - الخطوط
- ٣ - محطة محولات
- ٤ - موضع الخطأ

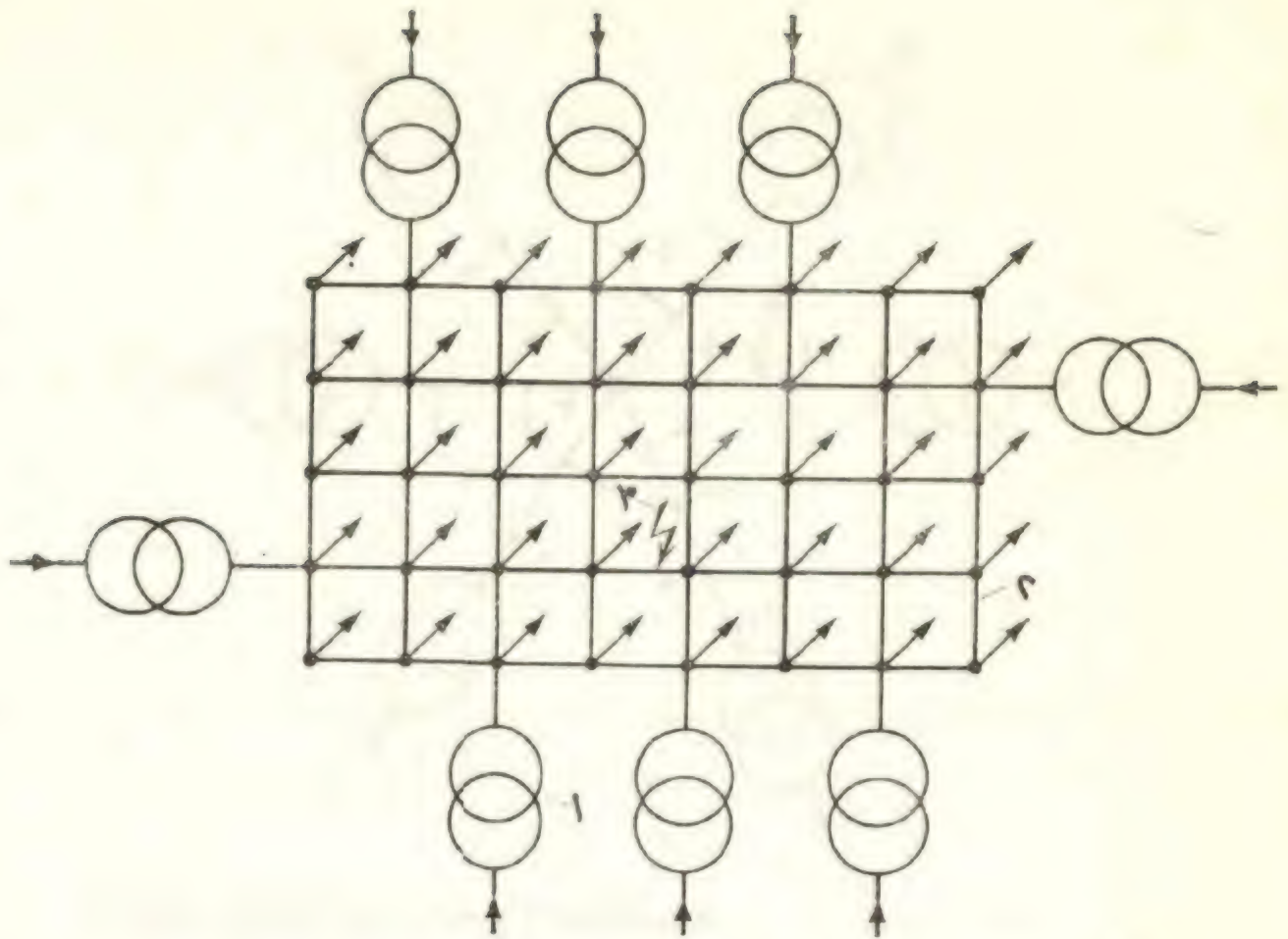


الشكل (٧٦) نظام التوزيع النجمي ( شبكة نجمية )  
 ١ - محول تغذية  
 ٢ - خطوط التغذية  
 ٣ - نقطة التعادل  
 ٤ - موضع الخطأ



الشكل (٧٧) نظام التوزيع المشطى ( شبكة على هيئة المشط )  
 ١ - محول تغذية  
 ٢ - خطوط التغذية  
 ٣ - موضع الخطأ





الشكل (٧٨) نظام التغذية الشبكي

١ - محول تغذية      ٢ - خطوط التغذية الشبكية      ٣ - موضع الخطأ

#### ٤ - نظام التغذية المشطى : ( نظام تغذية على هيئة مشط ) :

يبين شكل (٧٧) شبكة تغذية مشطية ، وهذا النظام مشتق من نظام التغذية النجمي . في هذا النظام يستبدل بنقطة التغذية الوحيدة خط به أكثر من نقطة تغذية أو خطوط تغذية متقاطعة . ويستخدم مثل هذا النظام في المناطق الصناعية .

#### ٥ - نظام التغذية الشبكي :

يبين شكل (٧٨) نظام تغذية شبكي ، وهذا النظام يعتبر أكثر نظم التوزيع كفاءة . فهو يعطى الحد الأقصى للخدمة المستمرة ، ويستخدم في المدن الكبيرة والمدن الصناعية . ويتميز النظام الشبكي بعدم تأثر أى مستهلك أو مصنع في حالة حدوث تيار قصر أو اضطراب أو خلل يؤدي إلى انقطاع التيار عند أية نقطة من نقاط النظام . ويعيب هذا النظام ارتفاع تكاليف إنشائه وصيانته والعناية به ، هذا بالإضافة إلى أن تعقيد هذا النظام يؤدي إلى صعوبة الوصول إلى موضع الخطأ أو الاضطراب أو قصر الدائرة الذي يحدث بالشبكة .

## الباب الرابع

### وسائل التحكم في الطاقة الكهربائية

يعرف التحكم بأنه القوة الحاكمة التي تحدد تغير الكميات المؤثرة في الطاقة الكهربائية لدائرة ما ( الجهد والتيار والمقاومة الخاصة بالدائرة ) ، كما يتضمن أيضاً إنقاص أو زيادة هذه الكميات الكهربائية ، ووصل أو قطع الدوائر الكهربائية المتصلة بهذه الدائرة .

وتنقسم معدات القطع والوصل ووسائل التحكم إلى قسمين :

أولاً : وسائل التحكم في الجهد العالي .

ثانياً : وسائل التحكم في الجهد المنخفض .

أولاً : وسائل التحكم في الجهد العالي

( ٣٣ ) وسائل القطع والوصل في الجهد العالي :

يراعى حالياً في تصميم محطات توليد القدرة الكهربائية الحديثة فصل محطة المفاتيح وأجهزة التحكم عن معدات القطع والوصل للجهد العالي ، كما هو مبين في شكل ( ٧٩ ) . وتزود محطة المفاتيح عادة بلوحة أو منصدة توضع عليها المفاتيح وأجهزة التحكم وأجهزة القياس ، ويطلق عليها « لوحة التوزيع » أو « منصدة التوزيع » ، ويتم بواسطتها التحكم في الطاقة الكهربائية للجهد العالي . وتنقسم معدات القطع والوصل عادة إلى :

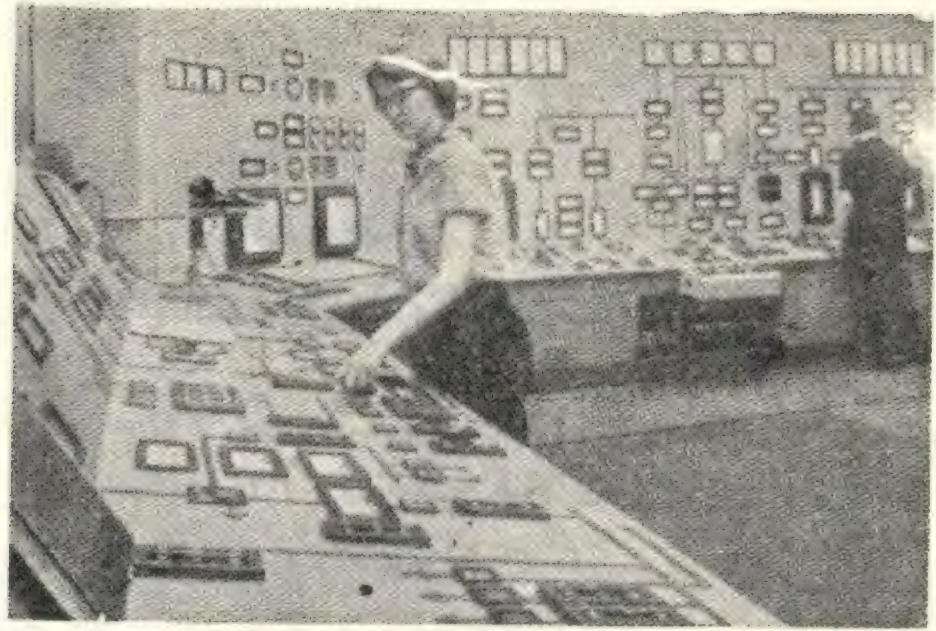
( أ ) معدات قطع ووصل داخل المباني .

( ب ) معدات قطع ووصل خارج المباني .

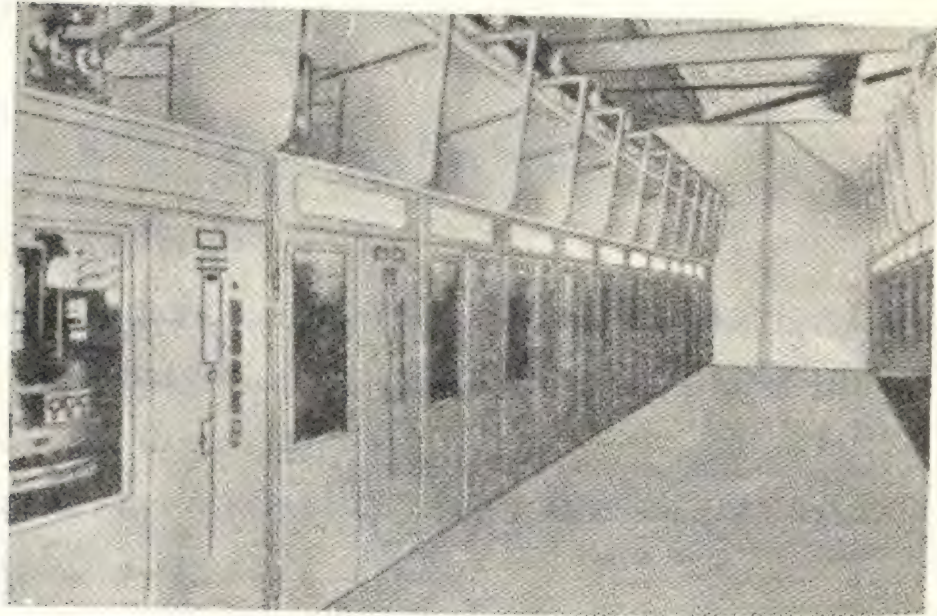
( أ ) معدات القطع والوصل داخل المباني :

تركب معدات القطع والوصل الحديثة داخل مبنى واحد أو مبنين منفصلين ، وتكون هذه المعدات عادة موضوعة داخل صناديق حديدية مغلقة يحتوى كل صندوق منها على وحدة من وحدات القطع والوصل . وقد أصبح من الممكن حالياً استخدام مبنى واحد فقط نظراً لتوفر أجهزة القطع والوصل الصغيرة التي تعمل بدون زيت أو بزيوت قليلة ، ويبين الشكلان ( ٨٠ ، ٨١ ) هذه المعدات داخل المباني .





الشكل (٧٩) منظر عام لمحطة المفاتيح الملحقة بمحطة توليد القدرة الكهربائية

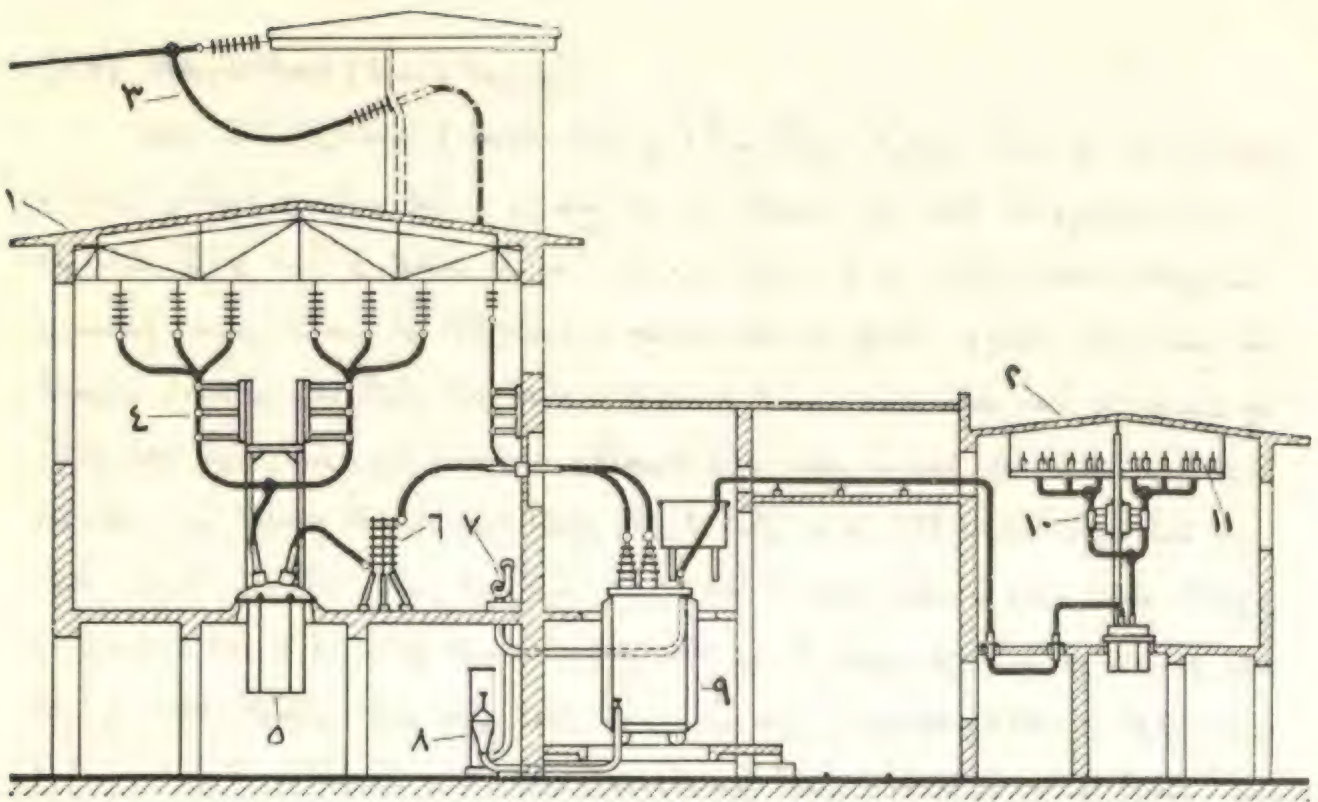


الشكل (٨٠) منظر عام لمحطة مفاتيح داخل المباني

#### (ب) معدات القطع والوصل خارج المباني :

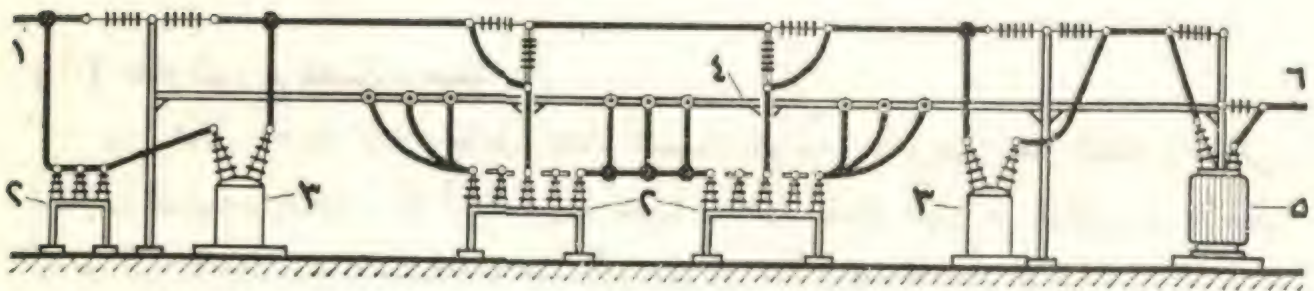
يفضل عادة في نظم توزيع الجهد العالي وضع الخطوط الهوائية وترتيبها بحيث يكون بين بعضها البعض مسافة كبيرة كلما أمكن ذلك لتجنب حدوث وميض عابر بين الخطوط . لذلك تحتاج أجهزة القطع والوصل في الجهد العالي إلى مساحات شاسعة حتى يمكن تركيبها في أماكن مناسبة . ومن الأفضل اقتصادياً وضع هذه المعدات في أماكن مكشوفة في العراء دون مبان ، ويفضل في الجهود العالية جداً ترتيب جميع المعدات والأجهزة وتركيبها في وضع أفق . وبين الشكل (٨٢) رسماً تخطيطياً لوضع هذه المعدات أفقياً في الأماكن المكشوفة .





الشكل (٨١) رسم تخطيطي لمحطة مفاتيح داخل المباني خاصة بمحطة محولات

- |                                  |                          |
|----------------------------------|--------------------------|
| ١ - مفاتيح الجهد العالي ١٠٠ ك. ف | ٧ - مضخة دفع زيت التبريد |
| ٢ - مفاتيح الجهد المتوسط ٥ ك. ف  | ٨ - وحدة التبريد         |
| ٣ - نقطة التغذية                 | ٩ - محول                 |
| ٤ - مفتاح فاصل                   | ١٠ - مفتاح فاصل          |
| ٥ - مفتاح قدرة (مفتاح زيتي)      | ١١ - صندوق توصيل         |



الشكل (٨٢) رسم تخطيطي لمحطة مفاتيح توزيع خارج المباني

- |                  |                   |
|------------------|-------------------|
| ١ - نقطة التغذية | ٤ - قضبان التوزيع |
| ٢ - مفتاح فاصل   | ٥ - محول          |
| ٣ - مفتاح قدرة   | ٦ - نهاية خروج    |



## (٣٤) القضبان المجمعة ( قضبان التوزيع ) :

تعتبر القضبان المجمعة ( قضبان التوزيع ) أحد الأجزاء الرئيسية العامة في معدات القطع والوصل والتحكم في الجهد العالى . ويتجمع على هذه القضبان كل الطاقة الكهربائية الناتجة من المولدات كما هى الحال فى محطات التوليد ، أو من المحولات كما هى الحال فى محطات المحولات . ويستخدم النحاس الأحمر أو الألومنيوم فى صناعة القضبان المجمعة . ويختلف شكل مقطع هذه القضبان باختلاف شدة التيار الذى تحمله ، فتستخدم القضبان ذات المقطع الدائرى المصمت إذا كانت شدة التيار المار بها صغيرة ، والقضبان ذات المقطع المستطيل إذا كانت شدة التيار متوسطة ، بينما تستخدم القضبان ذات المقطع الذى له شكل حرف ( U ) عندما تكون شدة التيار المار كبيرة . أما إذا كانت شدة التيار كبيرة جداً فتستخدم القضبان ذات المقطع الأنبوبى ( الموصلات المفرغة ) . وتطلى قضبان التوزيع بطلاء يميز كل قضيب عن الآخر ، وخاصة فى نظام التوزيع الثلاثى الأطوار حيث يعطى لكل طور لون معين . ويستخدم الطلاء فى الوقت نفسه فى تحسين عملية تبريد القضبان . وتعتبر نقط ربط وتوصيل القضبان المجمعة مع بعضها البعض أكثر النقاط تعرضاً للخطر ، أو حدوث الشرارة وارتفاع درجة الحرارة . . . إلخ . لذلك تستخدم عادة مسامير مقلوطة وصواميل لربط القضبان بعضها ببعض . وتطلى رؤوس هذه المسامير بطلاء حرارى ، أى بطلاء يتغير لونه إذا ارتفعت درجة حرارة المسامير ووصلت إلى درجة معينة ، ويعتبر هذا دليلاً على أن نقطة الاتصال هذه لم تعد فى حالة سليمة ويلزم الكشف عليها لإزالة الخطأ الحادث .

وتنقسم نظم التوزيع المجمعة إلى :

( أ ) نظام توزيع بقضبان وحيدة .

( ب ) نظام توزيع بقضبان مزدوجة .

### ( أ ) نظام التوزيع بقضبان وحيدة :

يبين شكل ( ٨٣ ) تمثيلاً تخطيطياً لنظام القضبان الوحيدة ، ويتميز هذا النظام بانخفاض تكاليف تصنيعه وإنشائه ، إلا أن له عيوباً خطيرة ، أهمها انقطاع التيار عن الكثير من الأحمال أو عن كل الأحمال المتصلة بها إذا ما حدث أى خطر أو خطأ فى هذه القضبان الوحيدة .

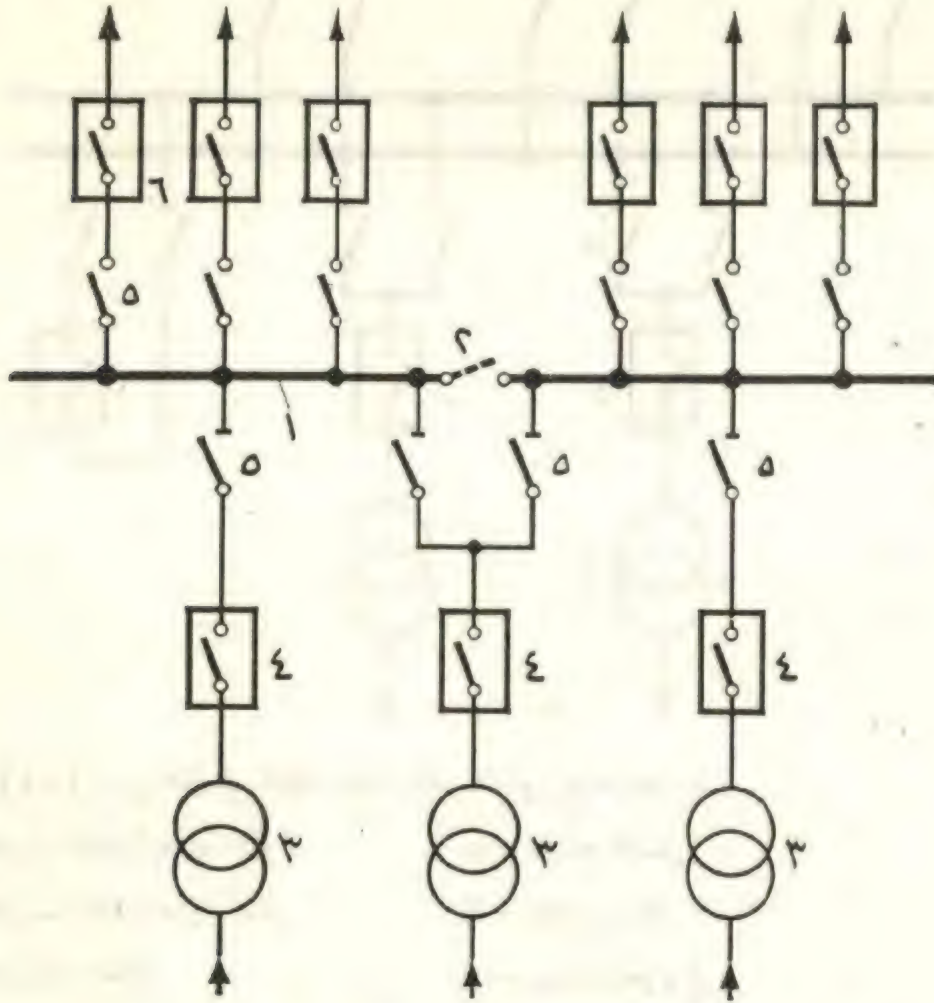
كما أن العناية بهذه القضبان وصيانتها لا تتم إلا فى الأوقات التى تكون فيها الأحمال أقل ما يمكن . وفى هذه الحالة تفصل الأحمال المتصلة بهذه القضبان ، ويزود المستهلكون بالطاقة الكهربائية اللازمة لهم أثناء عملية الصيانة بواسطة محطة توليد صغيرة .

### ( ب ) نظام التوزيع بقضبان مزدوجة :

يبين شكل ( ٨٤ ) تمثيلاً تخطيطياً لنظام القضبان المزدوجة ، وتكاليف إنشاء وتركيب هذا النظام أكبر بكثير من تكاليف إنشاء وتركيب النظام السابق ( نظام القضبان الوحيدة ) . ويتميز



هذا النظام بالأمان و استمرار الخدمة وكفاءة الأداء . كما أن عمليات صيانتة والعناية به تتم بدقة كافية وفي أي وقت دون حاجة إلى اختيار وقت معين للقيام بها ، نظراً لوجود قضبان احتياطية يتم عن طريقها تزويد المستهلكين بالطاقة اللازمة . ويمكن في هذا النظام وصل القضيبين ليعملا على التوازي ، أو فصلهما بواسطة مفاتيح قدرة مصممة لهذا الغرض .



الشكل (٨٣) رسم تخطيطي لنظام تغذية بقضبان توزيع وحيدة

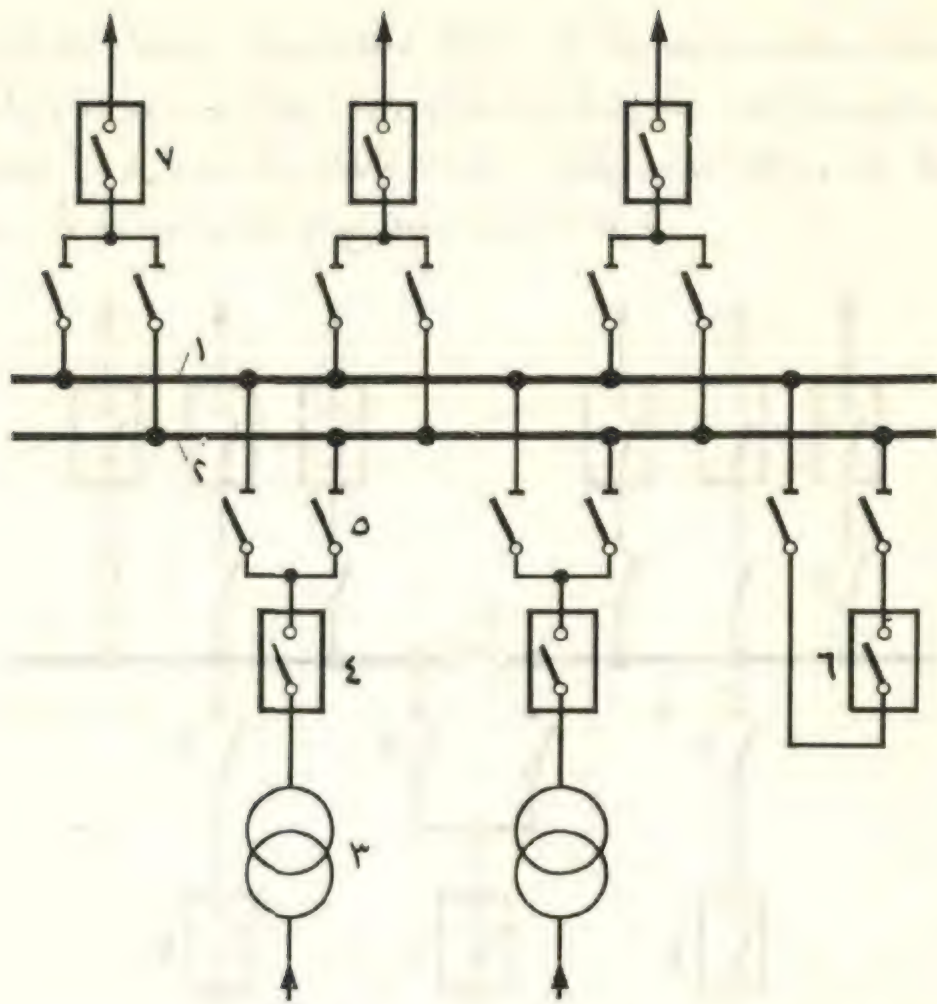
- |  |                |
|--|----------------|
| ١ - قضبان التوزيع                            | ٤ - مفتاح قدرة |
| ٢ - معدات قطع ووصل للتغذية في الاتجاه الطويل | ٥ - مفتاح فاصل |
| ٣ - محولات تغذية                             | ٦ - نهاية خروج |

ويبين شكل (٨٥) رسماً تخطيطياً للتركيبات الخاصة بأجهزة القطع والوصل المستخدمة في نظام القضبان المزدوجة لجهد عال .

(٣٥) مفاتيح الجهد العالي :

توجد عدة أنواع من المفاتيح المستخدمة في قطع أو وصل التيار في الجهد العالي . وفيما يلي وصف لأهم أنواع هذه المفاتيح .





الشكل (٨٤) رسم تخطيطي لنظام تغذية بقضبان توزيع مزدوجة

- |                               |                 |
|-------------------------------|-----------------|
| ١ - قضبان نظام التغذية الأول  | ٥ - مفتاح فاصل  |
| ٢ - قضبان نظام التغذية الثاني | ٦ - مفتاح ربط   |
| ٣ - محولات تغذية              | ٧ - نهايات خروج |

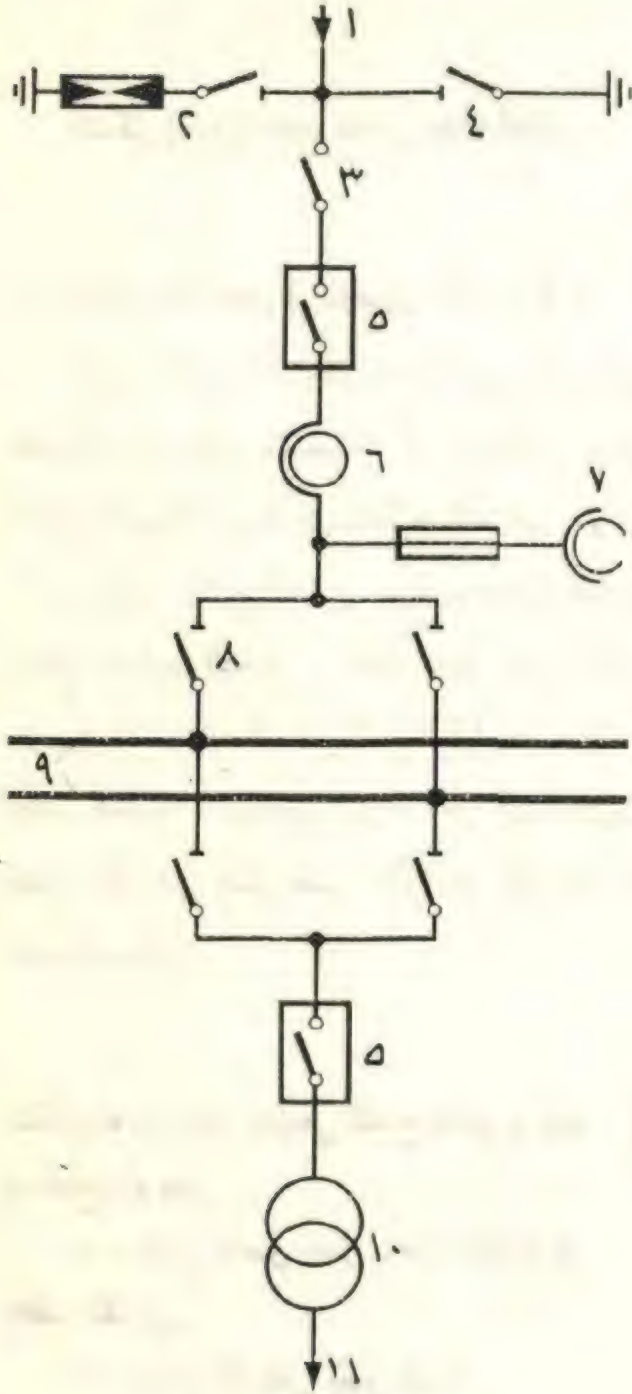
#### ١ - خوص الفصل :

هي أجزاء موصلة يمكن نزعها أو سحبها من القضبان لقطع التيار . ولا يمكن رفع هذه الأجزاء أو تركيبها في مكانها إلا إذا كانت القضبان غير مكهربة ، أى إذا كانت جميع المعدات والأحمال مفصولة عن القضبان . وتستخدم خوص الفصل فقط في الحالات التي لا تسمح فيها التركيبات من حيث المساحة أو الفراغ باستخدام مفاتيح القدرة التي سيأتى شرحها فيما بعد .

#### ٢ - مفاتيح الفصل أو سكاكين العزل :

تصمم مفاتيح الفصل في الجهد العالى لتركب على القضبان داخل الإنشاءات ، وهي لا تختلف كثيراً عن خوص الفصل . ويجب ألا تعمل هذه المفاتيح إلا إذا كانت جميع الأحمال مفصولة

أو كانت الأحمال الموصلة بالقضبان صغيرة جداً . وتستخدم مفاتيح الفصل ( سكاكين العزل ) لقطع أو عزل أجزاء معينة من القضبان عن الكهرباء لتضمن عدم وجود أى احتمال للخطر من الكهرباء أثناء إجراء عمليات الصيانة بهذه الأجزاء . ويبين شكل ( ٨٦ ) مفتاحاً للفصل بثلاثة أقطاب يعمل بالهواء المضغوط . ويعمل هذا المفتاح على محول بتيار مقنن ١٠٠٠ أمبير ، ( ولا يتم تشغيل هذا المفتاح إلا إذا كانت الدائرة مفتوحة والأحمال مفصولة ) .



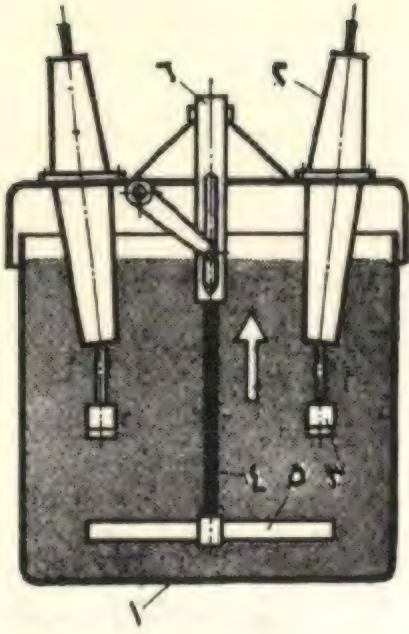
الشكل ( ٨٥ ) تمثيل تخطيطي يبين الترتيب الأساسي لمعدات القطع والوصل المستخدمة في الجهد العالى :

- ١ - دخول الجهد العالى
- ٢ - مانع الصواعق والتمور
- ٣ - مفتاح فاصل
- ٤ - مفتاح تأريض
- ٥ - مفتاح قدرة
- ٦ - محولات التيار والأميترات
- ٧ - محولات الجهد والفولطمترات
- ٨ - مفتاح فاصل
- ٩ - قضبان توزيع
- ١٠ - محولات قدرة
- ١١ - نهايات خروج الجهد المنخفض









شكل (٨٨) رسم تخطيطي لمفتاح زيتي

- ١ - خزان الزيت .
- ٢ - جلب عازلة
- ٣ - قطع التلامس .
- ٤ - قضيب معزول .
- ٥ - شريحة التلامس ( لتوصيل قطع التلامس وفصلها ) .
- ٦ - المقبض المستخدم في عملية القطع والوصل .

#### ٤ - مفاتيح القدرة ( معدات القطع والوصل ) :

تعتبر مفاتيح القدرة أو معدات القطع والوصل أهم أجهزة التحكم في الجهد العالي . ويراعى عند تصميم مفاتيح القدرة المستخدمة في الجهد العالي أن تكون لها قدرة كبيرة على ما يلي :

- ( أ ) قطع ووصل أى تيار تشغيل مهما كانت شدته بمنتهى السرعة والأمان .
- ( ب ) قطع أى تيار قصر دائرة يحدث بطريقة فجائية في الدائرة .
- ( ج ) إطفاء أو إخماد القوس الحادث عند انفصال الملامسات ، أى عند قطع التيار ، ويتم ذلك عن طريق وسائل معينة ملحقة بهذه المفاتيح تقوم بإخماد أو إطفاء القوس المتكون عند قطع التيار .

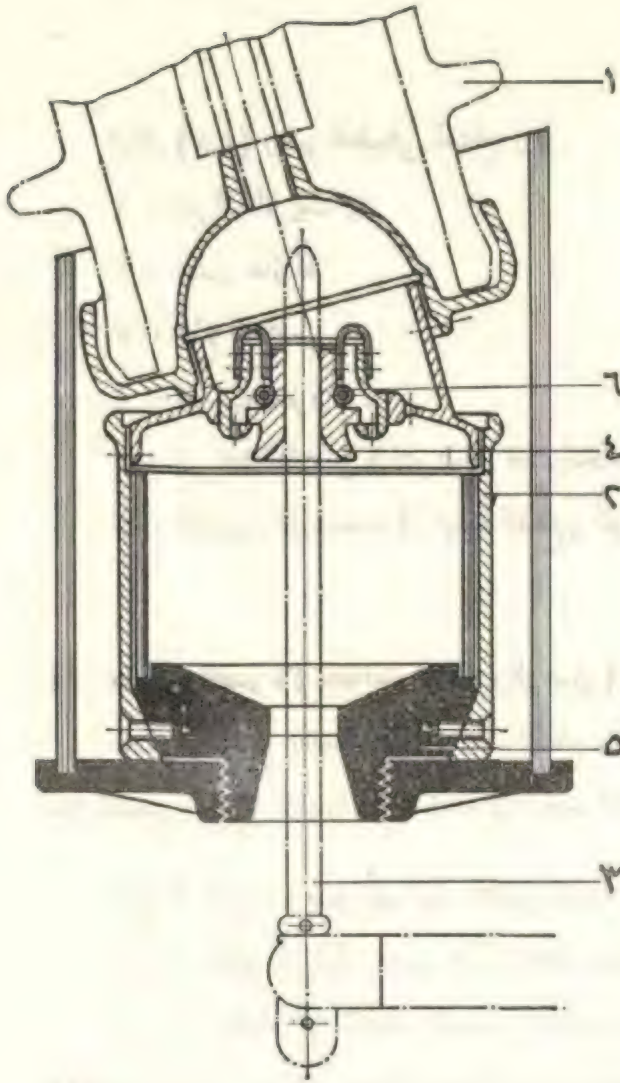
وتقسم مفاتيح القدرة بالنسبة للوسط المستخدم لإطفاء القوس إلى :

- ١ - مفاتيح قدرة بالزيت .
- ٢ - مفاتيح قدرة باندفاع الغاز .
- ٣ - مفاتيح قدرة بتمدد الغاز أو السائل .

ويبين شكل (٨٨) رسماً تخطيطياً لأحد مفاتيح القدرة التي تعمل بالزيت ، وبالرغم من أن هذا التصميم قديم إلا أنه ملائم لتوضيح الكيفية التي يعمل على أساسها مثل هذا النوع من المفاتيح . ويبين شكل ( ٨٩ ) رسماً تخطيطياً لمفتاح زيتي حديث بوعاء إطفاء ، ويتميز هذا المفتاح من الناحية العملية بعدم احتمال حدوث انفجار به .

يبين شكل (٩٠) تمثيلاً تخطيطياً لحجرة التمدد في إحدى معدات القطع والوصل بتمدد الغاز أو السائل . وفيها يستخدم الماء كوسيلة من وسائل إطفاء القوس . وهذه المفاتيح تتميز أيضاً بقلّة احتمال حدوث أى انفجار بها .





شكل (٨٩) رسم تخطيطي لوعاء إخماد

القوس في مفتاح زيتي

١ - جلبة عازلة

٢ - اسطوانة الانفجار المعدنية .

٣ - بنز التلامس ( لتوصيل قطع

التلامس ) وفصلها .

٤ - قطع التلامس القابلة للانضغاط

٥ - غطاء وعاء إخماد القوس

٦ - خزان الزيت .

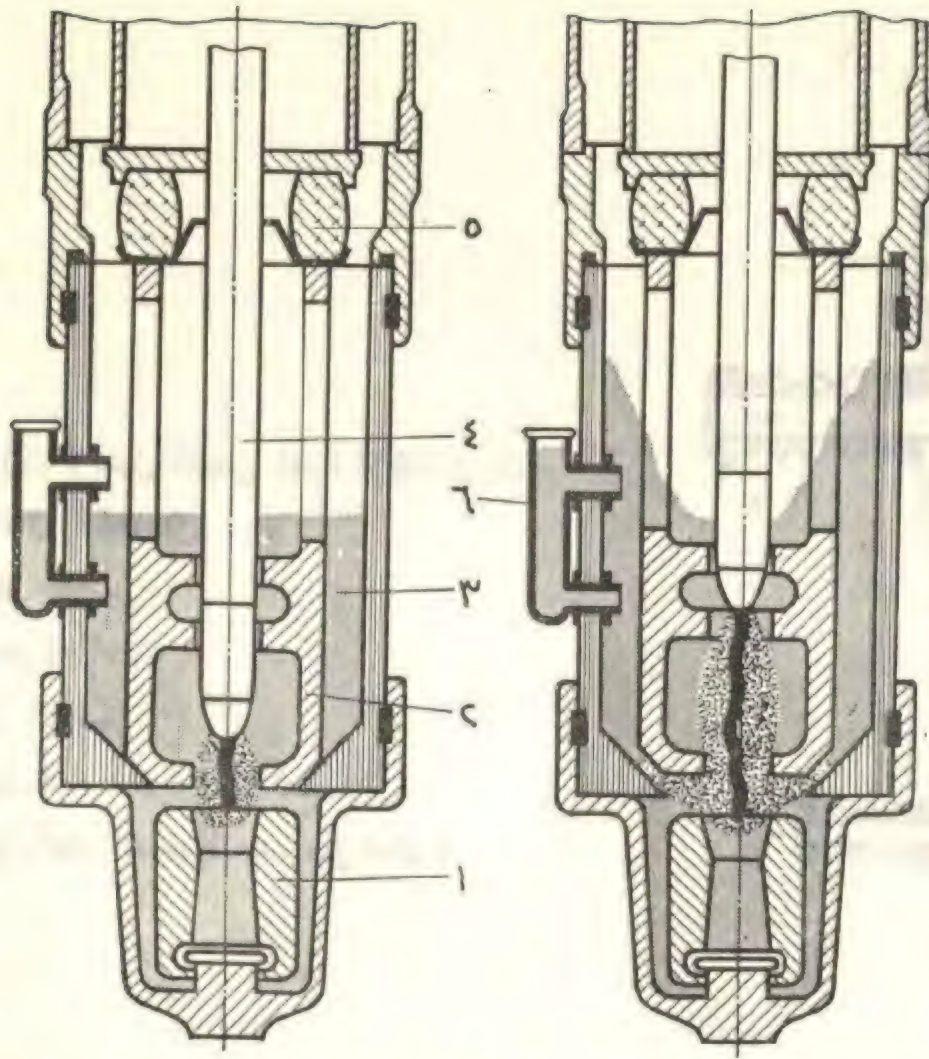
وبين شكل (٩١) تمثيلاً تخطيطياً لحجرة إطفاء في أحد مفاتيح القدرة باندفاع الغاز التي يستخدم فيها الهواء المضغوط كوسيلة من وسائل إطفاء الشرارة أو القوس ، وفي مثل هذه الأنواع تقوم المفاتيح تلقائياً بإطلاق الهواء المضغوط لإطفاء القوس .

وتبين الأشكال من (٩٢) إلى (٩٤) عدة تصميمات مختلفة لأنواع مفاتيح القدرة التي سبق شرحها .

### (٣٦) مصاهر الجهد العالي :

تعرف مصاهر بأنها وسائل لحماية التركيبات ، والأدوات ، والمعدات الكهربائية أو أى عنصر من عناصر الدائرة الكهربائية ، من التيارات الزائدة أو تيارات قصر الدائرة . وتستخدم مصاهر الجهد العالي ( أو مصاهر القدرة العالية ) أساساً كوسيلة من وسائل حماية التركيبات والمعدات الكهربائية من تيار قصر الدائرة . وتستخدم المصاهر خاصة في الجهد العالي كبديل لمفاتيح القدرة إذا كان الحيز الذي توجد به التركيبات ضيقاً بحيث لا يسمح بتركيب معدات القطع والوصل التي سبق ذكرها .





الشكل (٩٠) رسم تخطيطي يبين وعاء الإخاد في معدات القطع والوصل التمديدية .

- |                     |                         |
|---------------------|-------------------------|
| ١ - حجرة التلامس    | ٤ - بنز التلامس         |
| ٢ - وعاء إخاد القوس | ٥ - حلقة قابلة للانضغاط |
| ٣ - حجرة التكثيف    | ٦ - مبین مستوى السائل   |

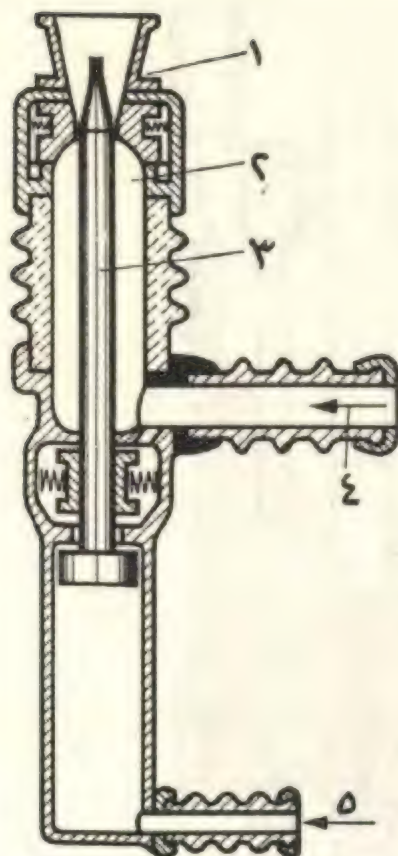
وهناك نوعان من المصاهر المستخدمة في الجهد العالي هما :

( أ ) مصاهر لها طاقة بيان منخفضة .

( ب ) مصاهر لها طاقة بيان عالية .

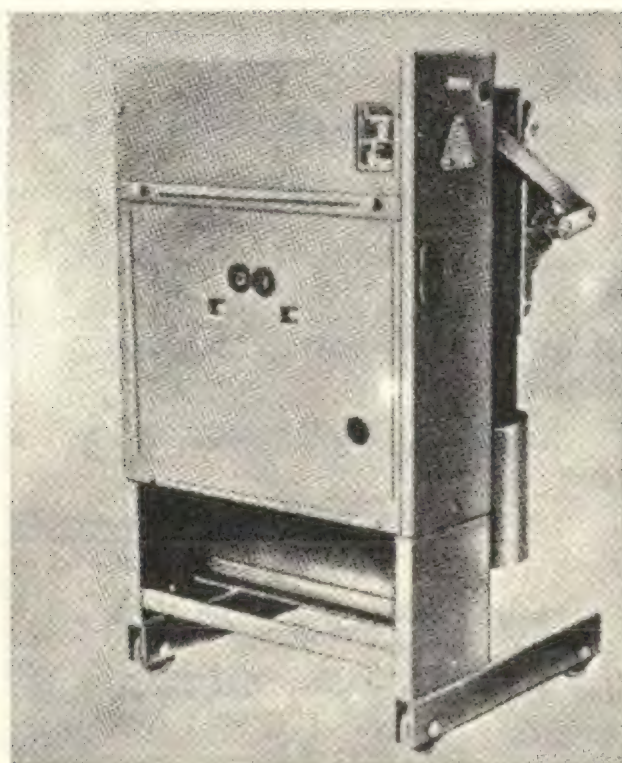
وطريقة عمل كل من المصهرين واحدة ، إلا أن المصهر الأول مزود بوسيلة لبيان انصهار عنصره بطريقة سهلة ، بينما يزود المصهر الثاني بوسيلة لبيان انصهار العنصر بطريقة قوية ، مثل إحداث صوت أو تشغيل مصابيح إشارة أو تشغيل أجهزة إنذار بمجرد انصهار العنصر .





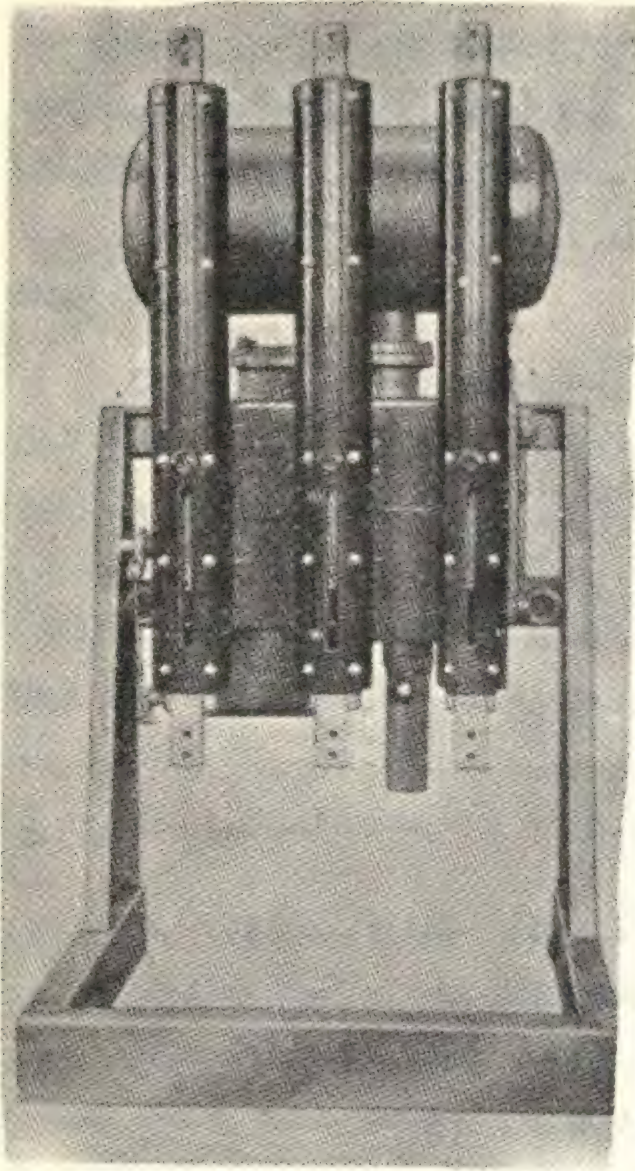
الشكل (٩١) تمثيل تخطيطي لحجرة الإطفاء في مفتاح  
قدرة يعمل بالغاز المضغوط .

- ١ - قطع التلامس
- ٢ - حجرة الإطفاء
- ٣ - بنز التلامس
- ٤ - اتجاه الغاز المضغوط عند قطع الدائرة
- ٥ -- اتجاه الغاز المضغوط عند وصل الدائرة

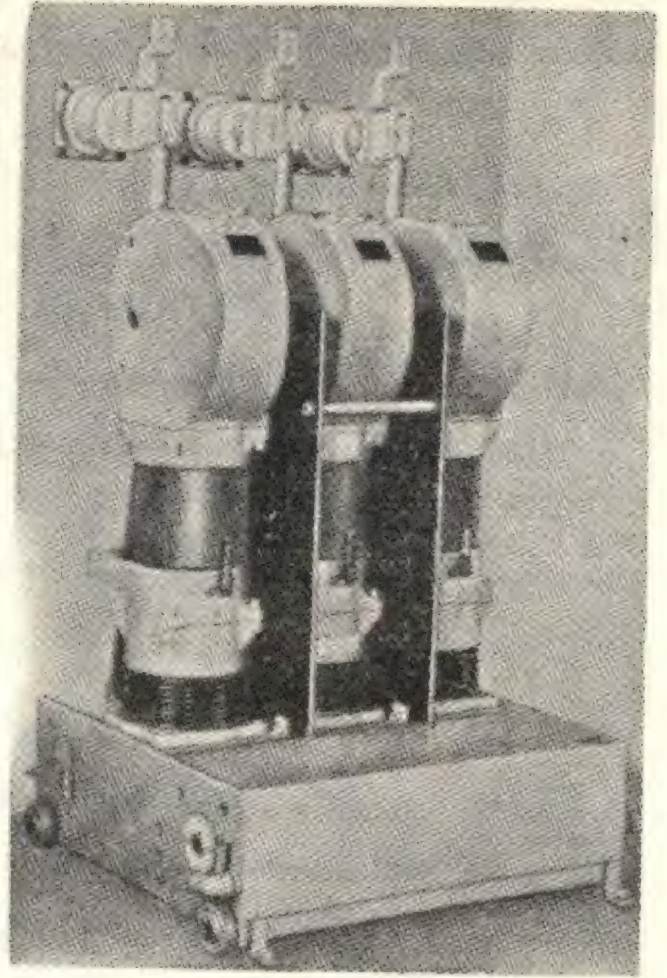


الشكل (٩٢) قاطع دائرة (مفتاح) بملامسات  
في الزيت

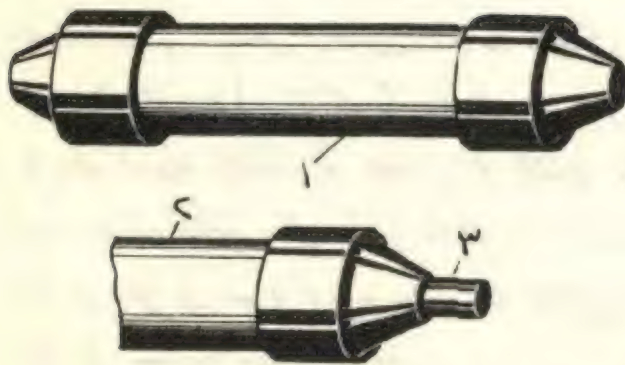




الشكل (٩٤) قاطع دائرة (مفتاح قدرة) يعمل بالغاز المضغوط



الشكل (٩٣) قاطع دائرة (مفتاح قدرة) به معدات تعمل على تمدد القوس لتسهيل إطفائه



الشكل (٩٥) مصهر جهد عال ذو سعة قطع كبيرة ، ومزود بوسيلة لبيان الوضع لها طاقة تشغيل عالية .

- ١ - المصهر - قبل انصهار العنصر
- ٢ - المصهر - بعد انصهار العنصر
- ٣ - مسبار يبرز بقوة بمجرد انصهار العنصر



ويتلخص التصميم الأساسى لوسيلة البيان المستخدمة فى المصهر الأول فى وضع عنصر المصهر داخل أنبوب من الصبى ، ويوجد على واجهتى الأنبوب غطاءان معدنيان . ويثبت الغطاءان فى مكانهما بواسطة سلك زنبركى ملحوم بعنصر المصهر . فإذا زاد التيار المار بالدائرة على حد معين ينصهر العنصر وينطلق السلك الزنبركى ويدفع أمامه إحدى اللوحتين فتسقط ، وبذلك يمكن بيان انصهار العنصر بطريقة سهلة .

أما فى النوع الثانى من المصاهر فىوضع عنصر المصهر ، فى أنبوب محكم تماماً ويملاً بمادة متفجرة . وعند انصهار العنصر تنفجر هذه المادة وتدفع أمامها إبرة تخرج من أحد جوانب الأنبوب لتبين انصهار العنصر . وتستخدم هذه الإبرة أيضاً فى تشنيل وسيلة إنذار أو مصابيح إشارة ، ومن هنا أطلق على هذا النوع من المصاهر اسم « مصاهر ذات طاقة بيان عالية » ، انظر الشكل (٩٥) . وتثبت مصاهر الجهد العالى فى حوامل ، وتركب هذه الحوامل على إطار من الحديد المثبت على قوائم عازلة ، وتقوم المصاهر بالعمل الذى يقوم به مفتاح القطع أو خوصة الفصل . فعند نزع المصهر من حامله ، أو عند انصهار وصلته ، تقطع الكهرباء عن القضبان أو التركيبات التى يلزم القيام فيها بعمليات الصيانة أو الإصلاح .

### (٣٧) الإشراف والتحكم فى الطاقة الكهربائية بمجهود عال :

تتأثر عمليات التحكم فى الجهد العالى بالتحكم فى الجهد المنخفض وتؤثر فيه ، وتركب جميع أجهزة التحكم وإشارة والإنذار والقياس وأجهزة التسجيل المستخدمة فى الجهد العالى والجهد المنخفض عادة فى محطات المفاتيح . وفيما يلى شرح لبعض المفاتيح وأجهزة البيان المستخدمة فى التحكم والإشراف على الطاقة الكهربائية بمجهود عال .

#### ١ - محطات المفاتيح :

تزود محطات المفاتيح بلوحات أو مناظير يركب بها جميع أجهزة القياس والتحكم والإشارة والإنذار ، كما يركب بها المفاتيح التى تقوم بتشغيل كل هذه الأجهزة والمعدات بطريقة مبسطة وواضحة . وتزود هذه اللوحات برسوم تخطيطية مبسطة تبين صلة كل دائرة كهربائية بالدوائر الكهربائية الأخرى . وتفيد الرسوم التخطيطية فى معرفة كيفية توصيل الدوائر الكهربائية المختلفة ببعضها ببعض وتسهيل عمليات التحكم والصيانة والإصلاح اللازمة . كما يمكن بواسطتها معرفة العلاقة بين أجهزة التحكم ببعضها ببعض ، وتأثير تشغيل أى مفتاح أو جهاز من أجهزة التحكم على بقية أجهزة الإنذار أو القياس أو الإشارة على أى معدات أخرى . ولنفس الأغراض السابقة تزود معدات القطع والوصل ( المفاتيح ) وأجهزة التحكم بوسائل لبيان أوضاع تشغيلها ، تفيد هذه الوسائل فى معرفة وضع ملامسات المفاتيح إذا كانت مقفلة أو مفتوحة أو إذا كان هناك خطر أو خطأ بالأجهزة المختلفة .



## ٢ - وسائل بيان أوضاع تشغيل المفاتيح :

يوجد الكثير من وسائل بيان أوضاع تشغيل المفاتيح وأجهزة التحكم التي تفيد في معرفة حالة الدوائر الكهربائية لتسهيل الإشراف عليها ومراقبتها لمعرفة ما إذا كانت مفتوحة أم مغلقة . وتنقسم وسائل البيان التي تزود بها المفاتيح عادة إلى :

( أ ) وسائل بيان ضوئية .

( ب ) وسائل بيان ميكانيكية .

( ج ) وسائل بيان مزدوجة .

( د ) وسائل بيان مسموعة .

ومن وسائل البيان الضوئية مصابيح الإشارة ، والتي يطلق عليها المينيات المرئية لأوضاع تشغيل المفاتيح . ومن وسائل البيان المسموعة النفير ، والجرس ، والصفارة . . . إلخ .

### ( أ ) وسائل البيان الضوئية ( مصابيح الإشارة ) :

توضع مصابيح البيان عادة في لوحات التوزيع لتبين ظروف أو أوضاع تشغيل الأجهزة والمفاتيح المستخدمة في عمليات التحكم ، ويجب أن تكون زجاجة هذه المصابيح بارزة وظاهرة فوق سطح المنضدة أو لوحة التوزيع حتى يمكن رؤيتها . وتطلى زجاجة مصابيح البيان عادة بألوان مختلفة ، ويدل كل لون من الألوان المستخدمة في طلاء مصابيح البيان على وضع معين من أوضاع التشغيل للمفتاح . فيدل اللون الأبيض مثلاً على أن المفتاح أو الجهاز أو الدائرة في حالة تشغيل . ويدل اللون الأخضر على أن المفتاح ( الجهاز ) سليم ومعد للتشغيل . أما اللون الأحمر فيدل على أن المفتاح أو الجهاز لا يعمل وأن هناك خطأ في الدائرة التي يعمل عليها الجهاز . وبذلك يمكن للقائم على عمليات التحكم معرفة الحالة التي تكون عليها المعدات أو الدوائر الكهربائية أو شبكات التوزيع التي يقوم بمراقبتها والتحكم فيها .

أي أن أجهزة البيان تسهل معرفة ما إذا كانت حالة المعدات والأجهزة سليمة أو في حالة تشغيل أو حالة عدم تشغيل أو بها خلل . وفيما يلي جدول يبين الألوان المميزة المتفق عليها لمصابيح البيان ، ويدل كل لون منها على وضع من أوضاع التشغيل المختلفة .

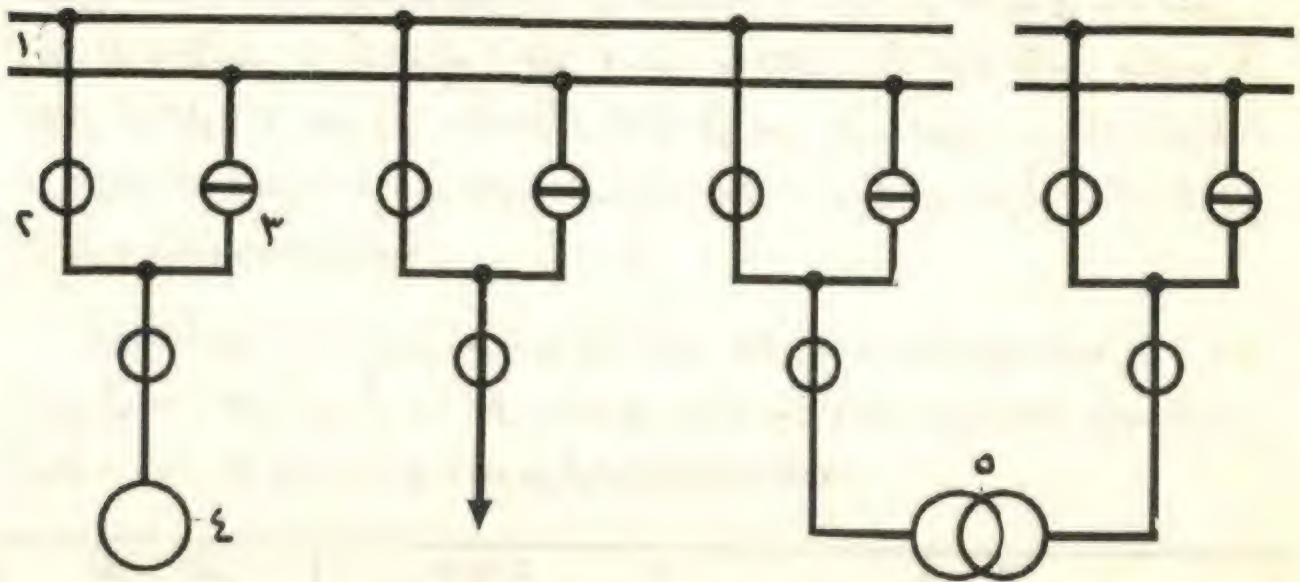
اللون المميز	الدلالة	مثال
أحمر	خطر	سقوط أحد المولدات
أخضر	عدم وجود أى خطر	التركيبات والأجهزة سليمة ومعدة للتشغيل .
أبيض	حالة تشغيل	أن المولدات تقوم بالتوليد وفي حالة سليمة .



## (ب) وسائل البيان الميكانيكية :

وسائل تستخدم لبيان أوضاع التشغيل المختلفة ، مثل وضع « شغال » ( أى يبين حالة التشغيل ) ، أو وضع « بطل » ( أى وضع عدم تشغيل ) ، أو وضع « خطر » ( وجود اضطراب أو خلل ) وتستخدم هذه الوسائل عادة مع المفاتيح لبيان أوضاع التشغيل المختلفة . ويبين شكل (٩٧) أحد المفاتيح التى تستخدم فيها وسيلة ميكانيكية لبيان أوضاع التشغيل العادية ، وهى فى هذه الحالة عبارة عن قضيب أسود مرسوم فى مركز لوحة معدنية بيضاء مستديرة ، وهذه اللوحة مثبتة على السطح الخارجى الظاهر للمفتاح ، وتثبت اللوحة بالعضو الدوار للمفتاح ، بطريقة معينة ، بحيث يأخذ القضيب الوضع الأفقى عند تحريك المفتاح لقفل الدائرة . وفى حالة فتح الدائرة يحرك العضو الدوار للمفتاح فيأخذ القضيب الوضع الرأسى . وفى حالة وجود أى عطل فإن القضيب يأخذ الوضع المائل .

وتزود مثل هذه المفاتيح بمغناطيسين كهربائيين ، بحيث يمر تيار كهربائى فى أحدهما عند قفل الدائرة فيدير العضو الدوار ، وفى هذه الحالة يأخذ القضيب الأسود الوضع الأفقى . أما فى حالة الوضع « بطل » فتفصل الكهرباء عن ملف المغناطيس الأول ، وينفذ ملف المغناطيس الآخر بالتيار الكهربائى فيجذب العضو الدوار ليفصل الدائرة ، وفى هذا الوضع يأخذ القضيب الأسود المرسوم على سطح المفتاح الوضع الرأسى . أما إذا كان هناك عطل كهربائى أدى إلى قطع الكهرباء عن الدائرة ، وبالتالي عن المغناطيسين ، فإن العضو الدوار للمفتاح يأخذ وضعاً يميل ٤٥° على المحورين الرأسى والأفقى ، لأن المفتاح مزود بزنبرك يضمن وضع العضو الدوار فى هذا الاتجاه عند حدوث عطل كهربائى . ويبين شكل (٩٦) رسماً تخطيطياً لوضع مثل هذه المفاتيح فى الدائرة . أما شكل (٩٨) فيبين الاحتمالات المختلفة لأوضاع المفتاح التى تناظر أوضاع التشغيل المختلفة كما سبق شرحه .



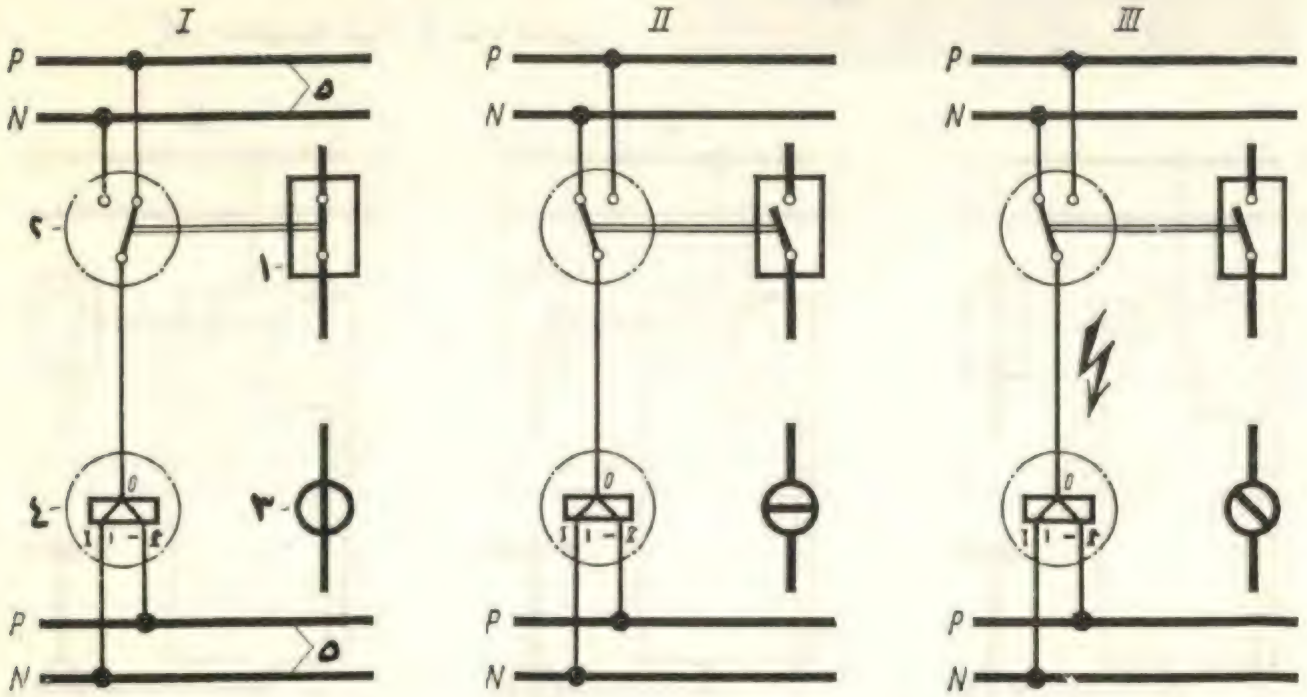
الشكل (٩٦) رسم تخطيطى لوسائل البيان المستخدمة فى معدات القطع والوصل

- ١ - قضبان توزيع
- ٢ - مبين يدل على أن دائرة التيار مغلقة
- ٣ - مبين يدل على أن دائرة التيار مفتوحة
- ٤ - المولد
- ٥ - المحول





الشكل (٩٧) مفتاح مزود بمبين لأوضاع التشغيل



الشكل (٩٨) رسم تخطيطي لمفتاح قدرة مزود بوسيلة كهر مغنطيسية لبيان أوضاع التشغيل  
 ١ - مفتاح القدرة  
 ٢ - مفتاح تحكم لتشغيل مبدن أوضاع التشغيل .  
 ٣ - مبدن أوضاع التشغيل الكهر مغنطيسي  
 ٤ - رسم تخطيطي لدائرة توصيل المبدن .  
 ٥ - مصدر للتيار المستمر .

الوضع الأول :

في هذا الوضع يقوم المفتاح بفتح الدائرة . ويأخذ مفتاح التحكم وضعاً معيناً بحيث يمر التيار المستمر خلال المغنطيس الكهربائي لمبدن أوضاع التشغيل من ( P ) إلى ( O ) إلى ( ١ ) إلى ( N ) وبذلك يأخذ مبدن أوضاع التشغيل الوضع الرأسي .

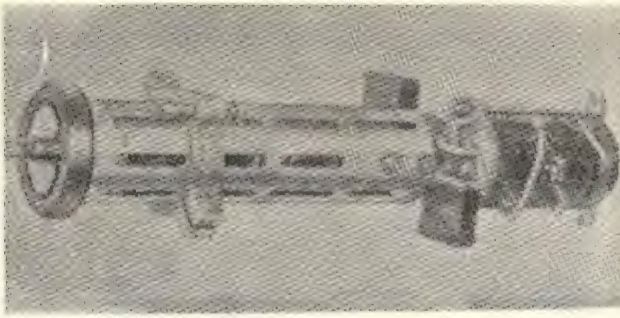
الوضع الثاني :

في هذا الوضع يقوم المفتاح بفتح الدائرة . ويأخذ مفتاح التحكم وضعاً معيناً بحيث يمر التيار المستمر خلال المغنطيس الكهربائي لمبدن أوضاع التشغيل في اتجاه عكس الاتجاه السابق فيمر من ( P ) إلى ( ٢ ) إلى ( O ) إلى ( N ) وبذلك يأخذ مبدن أوضاع التشغيل الوضع الأفقي .

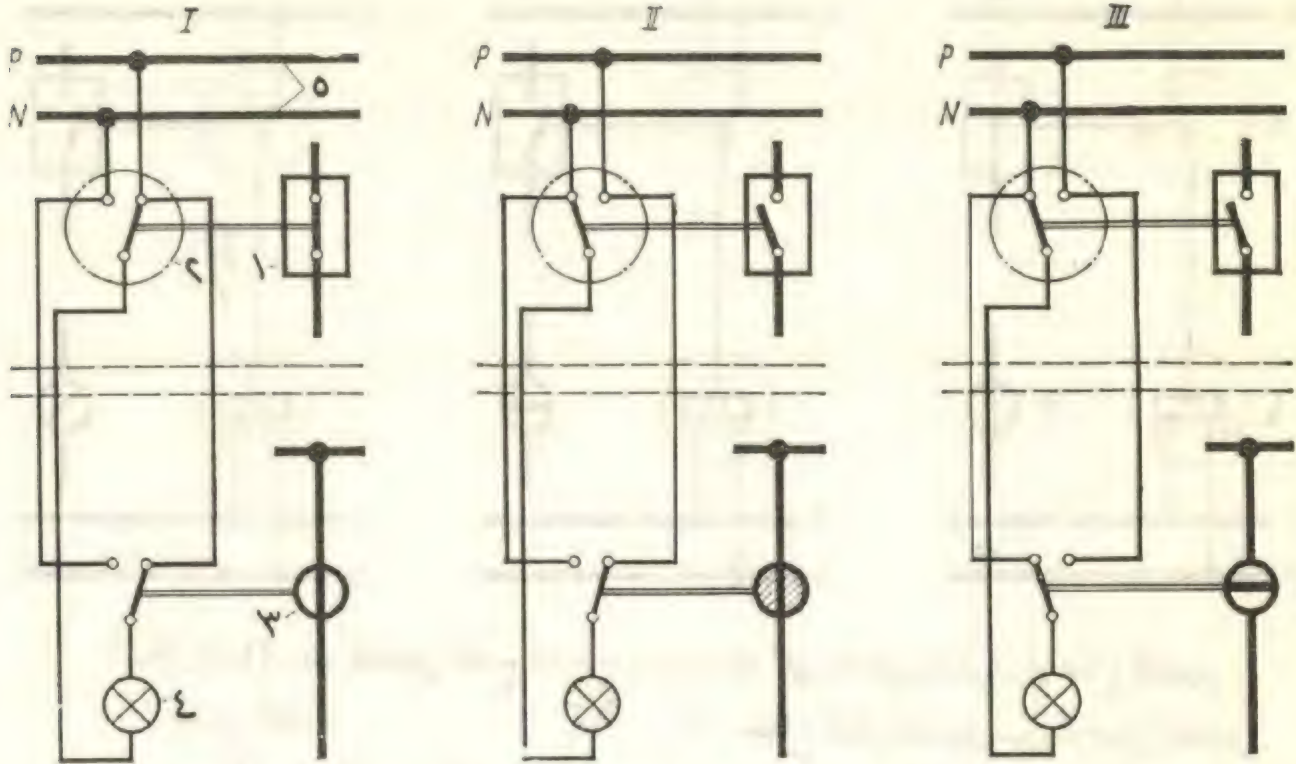
الوضع الثالث :

هذا الوضع يدل على حدوث عطل بالدائرة ، ولذلك لا يمر تيار المغنطيس الكهربائي في دفع اليأى العضو الدوار للمبدن بحيث يأخذ وضعاً مائلاً بزاوية ٤٥°





الشكل (٩٩) مفتاح قدرة مزود بوسيلة  
كهرمغناطيسية لبيان أوضاع التشغيل



الشكل (١٠٠) رسم تخطيطي لمفتاح قدرة مزود بوسيلتين من وسائل البيان .  
١ - مفتاح القدرة .  
٢ - مفتاح تحكم يرتبط عمله بمفتاح القدرة  
٣ - مبدع لأوضاع تشغيل المفتاح وهي مرسومة على مقبض المفتاح (وسيلة البيان الأولى)  
٤ - مصباح بيان (وسيلة البيان الثانية) . ٥ - مصدر للتيار المستمر .

الوضع الأول :

في هذا الوضع يقوم مفتاح القدرة بفتح الدائرة . وفي هذا الوضع تدل وسيلة البيان الأولى (المرسومة على مقبض المفتاح) على أن الدائرة مغلقة حيث تأخذ الوضع الرأسي . وفي نفس الوقت تدل وسيلة البيان الثانية (مصباح البيان) على أن المفتاح في وضع التشغيل فتضيء باللون الأبيض .

الوضع الثاني :

في هذا الوضع يقوم مفتاح القدرة بفتح الدائرة . وتدل وسيلة البيان الأولى (المرسومة على مقبض تشغيل المفتاح) على أن الدائرة مفتوحة، حيث تأخذ الوضع الأفقي وفي نفس الوقت تدل وسيلة البيان الثانية أيضا (مصباح البيان) على أن الدائرة مفتوحة فتضيء باللون الأخضر .

الوضع الثالث :

هذا الوضع يدل على حدوث عطل بالدائرة. وتدل وسيلة البيان الأولى على أن الدائرة بها عطل (فتأخذ الوضع المائل) وفي نفس الوقت لا يضيء مصباح البيان (الوسيلة الثانية) .



وقد تستخدم مع المفاتيح وسائل بيان ضوئية بالإضافة إلى الميكنات الميكانيكية لبيان أوضاع التشغيل . ويطلق على المفاتيح في هذه الحالة اسم « مفاتيح بوسائل بيان مزدوجة » .

#### ( ج ) وسائل البيان المزدوجة :

في هذه الحالة تزود المفاتيح بوسيلتين من وسائل بيان أوضاع التشغيل. ويبين شكل (٩٩) أحد المفاتيح من هذا النوع فيه وسيلة البيان الأولى ميكانيكية، وهى عبارة عن ذراع تشغيل يدل وضعها الأفقى على أن المفتاح « شغال » ، ويدل وضعها الرأسى على أن المفتاح « بطل » ، ووضعها المائل على أن هناك عطل . أما وسيلة البيان الثانية فهى عبارة عن مصابيح إشارة ( وسيلة بيان ضوئية ) لبيان نفس هذه الأوضاع المختلفة. وقد تكون إحدى الوسيلتين موجودة في نفس المكان المستخدم به المفتاح، بينما تكون الوسيلة الأخرى في مكان آخر يرتبط تشغيله بتشغيل هذه المفاتيح. ولذلك تستخدم مثل هذه المفاتيح في المحطات التى يرتبط تشغيل كل منها بالأخرى . فإذا أخذ مفتاح ما مركب في إحدى المحطات وضماً معيناً من أوضاع التشغيل ، فإن هذا الوضع يظهر بوضوح في المحطة الأخرى. وبهذه الكيفية يمكن معرفة وضع المفتاح والتحكم فيه من المحطات الأخرى إذا لزم الأمر . ويبين شكل (١٠٠) نوعاً من أنواع هذه المفاتيح .

#### ( د ) وسائل البيان المسموعة :

بالإضافة إلى وسائل البيان الضوئية والميكانيكية والمزدوجة فإنه توجد وسائل بيان مسموعة ذات تصميم يلائم أغراض التحكم والإشراف على الطاقة الكهربائية بجهد عال أو بجهد منخفض. ومن أمثلتها النفير ، والجرس ، والصفارة . وسيأتى شرح هذه الوسائل جميعاً في هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية عند الكلام عن أجهزة تحويل الإشارات الكهربائية إلى إشارات مسموعة .

#### ( ثانياً ) وسائل التحكم في الجهد المنخفض

#### ( ٣٨ ) عام :

تستخدم للتحكم في الجهد المنخفض نفس العناصر والوسائل المستخدمة للتحكم في الجهد العالى ، وتقوم هذه الوسائل أيضاً بالتحكم في الكيات الكهربائية وفي قطع ووصل الدوائر الكهربائية في الجهد المنخفض . وبختلف تصميم هذه الوسائل عن تصميم وسائل التحكم في الجهد العالى ، حيث أن مقننات التيار أو الجهد في وسائل تحكم الجهد المنخفض أقل بكثير من تلك المستخدمة في الجهد العالى . ولذلك فهى أصغر حجماً وأقل في مستوى العزل والأداء من وسائل الجهد العالى . وفيما يلى شرح لأهم المفاتيح ووسائل التحكم المستخدمة في الجهد المنخفض، مع شرح مبسط لطرق تركيبها وعملها وكيفية توصيلها مع الدوائر الكهربائية .

#### ( ٣٩ ) وسائل القطع والوصل في الجهد المنخفض :

تعتبر الوسائل الآتية من أهم الوسائل المستخدمة في قطع ووصل التيار في الجهد المنخفض :

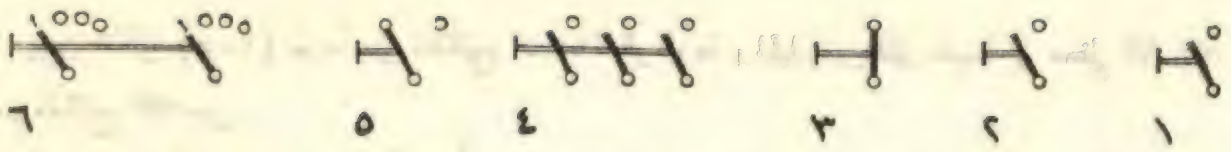
- ١ - المفاتيح .
- ٢ - بادئات التشغيل .
- ٣ - عناصر التحكم .
- ٤ - وسائل القرن الكهربائى ( أى وسائل التوصيل بين سلك قابل للحركة وآخر ثابت ) .
- ٥ - المصاهر



وفيما يلي جدول بين المقارنة بين الأنواع المختلفة لوسائل التحكم ومعدات القطع والوصل في الجهد المنخفض :

المصاهر	وسائل القرن	عناصر التحكم	بادئات التشغيل	المفاتيح
مصاهر خطوط التنفيذ.	وسائل قرن بعلامات محمية .	ريوستات المجال لتنظيم الجهد .	بادئات تشغيل بمقاومات على هيئة صفائح أو شرائح مبطلة، أو بادئ تشغيل على شكل طبل .	أنواع المفاتيح : (أ) تصنيف المفاتيح تبعاً لطريقة أدائها ، مثل مفاتيح التحكم ، المفاتيح العادية ومفاتيح التلامس
مصاهر ذات قواطع أوتوماتيكية .	وسائل قرن بعلامات غير محمية .	وسائل التحكم في السرعة لضبطها وتغييرها	بادئ تشغيل بمقاومة على هيئة سائل .	(ب) تصنيف المفاتيح تبعاً لطريقة تشغيلها مثل مفتاح يدوي ، أو مفتاح بالقدم أو مفتاح التحكم من بعد ( بطريقة كهرمغناطيسية أو بواسطة محرك أو بواسطة الهواء المضغوط ) . (ج) تصنيف المفاتيح تبعاً لنوع الأجهزة التي تستخدم فيها ، مثل وسائل المتق والمرحلات .
	قابس ومقبس عادي أو قابس ومقبس حائط .			





الشكل (١٠١) رمز تخطيطى لمفتاح تحكم

- ١ - مفتاح عادى يعمل يدوياً
- ٢ - مفتاح عادى يعمل بالقدم
- ٣ - قاطع دائرة
- ٤ - قاطع دائرة بثلاثة أقطاب
- ٥ - مفتاح قلاب
- ٦ - مفتاح لدوائر متعددة

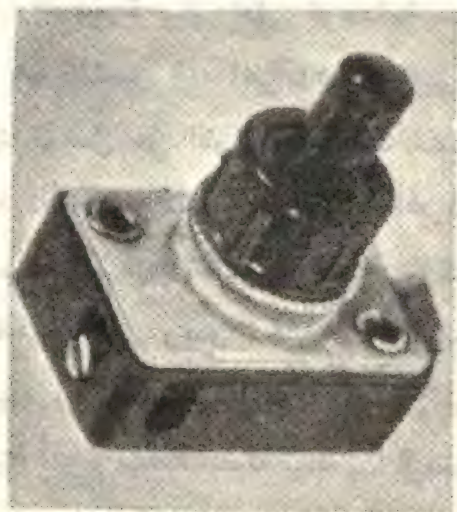
#### ١ - المفاتيح :

يراعى عند استخدام المفاتيح في الجهد المنخفض أن تكون ملائمة للجهد والتيار اللذين ستستخدم معهما . لذلك يوجد العديد من الطرز المختلفة للمفاتيح المستخدمة في الجهد المنخفض سواء لقطع أو وصل الدوائر الكهربائية ، أو مفاتيح التلامس المستخدمة في التحكم في الكيانات الكهربائية الخاصة بالأجهزة والمعدات المختلفة ( مثل التيار والجهد والطاقة ... إلخ ) . ويبين الجدول السابق أنواع المفاتيح المختلفة وطرق استخدامها . وفيما يلي مسح لهذه الأنواع :

- تبين الأشكال (١٠١) ، (١٠٢) ، (١٠٣) أنواعاً من المفاتيح التي تعمل يدوياً أو بالقدم عند الضغط عليها ، وتظل في وضع التشغيل ولا ترجع إلى مكانها الأصل إلا عند الضغط عليها مرة ثانية عند الحاجة ، ومثل هذه المفاتيح يستخدم في التحكم في طاقة كهربائية بقدرة منخفضة .
- يبين الشكل (١٠٤) نوعاً من المفاتيح التي تستخدم مع المحركات للتحكم والإشراف على تشغيلها .



الشكل (١٠٣) مفتاح للإنارة المنزلية (خارج الحائط)



الشكل (١٠٢) مفتاح عادى يصلح للتر كيبات الكهربائية المنزلية أو أى معدات للإضاءة .



- يبين شكل (١٠٥) نوعاً من المفاتيح الصامدة للرطوبة والمياه، ويطلق عليها في معظم الأحيان اسم مفاتيح التلامس .

- كما يبين الشكل (١٠٦) نوعاً من أنواع المفاتيح العادية التي تعود إلى وضعها الأصلي أوتوماتيكياً بعد تشغيلها ( مفاتيح بعودة ذاتية ) .

- ويبين الشكلان (١٠٧) ، (١٠٨) نوعين من مفاتيح التلامس التي تعمل بوسيلة كهرومغناطيسية لتعيده إلى مكانه الأصلي أوتوماتيكياً .

ويبين الشكل (١٠٩) رسماً تخطيطياً لأنواع مفاتيح التحكم من بعد ، وتزود هذه المفاتيح عادة بمحركات صغيرة للتحكم في عناصر أية دائرة كهربائية موضوعة على مسافة بعيدة منها ، كما تبين الأشكال من (١١٠) إلى (١١٢) أيضاً عدة أنواع مختلفة من هذا الطراز .

ويبين الشكل (١١٣) رسماً تخطيطياً لبعض وسائل العتق التي تعتبر هي الأخرى نوعاً من أنواع المفاتيح أو وسائل القطع والوصل التي تعمل نتيجة لتغير أى كمية فيزيقية سبق تحديدها . مثال ذلك وسائل العتق التي تعمل عندما تزيد أو تقل قيمة الجهد أو التيار عن حد معين ، أو تعمل نتيجة لارتفاع أو انخفاض درجة الحرارة عن قيمة معينة .

ويبين الشكل ( ١١٤ ) رسماً تخطيطياً لأحد أنواع المرحلات . وتسمى المرحلات في بعض الأحيان بالمفاتيح الرئيسية ، وتستخدم للتحكم في العناصر المكونة للدوائر الكهربائية . وهي تختلف عن المفاتيح ووسائل العتق في أنها تعمل إذا سلط عليها جهد معين هو جهد التحكم ، وتعود إلى مكانها الأصلي بمجرد رفع الجهد عنها . وقد يطلق على المرحلات التي تقوم بتشغيل المعدات ذات الأحمال العالية اسم « مفاتيح التلامس المستخدمة في الأغراض الصناعية » .

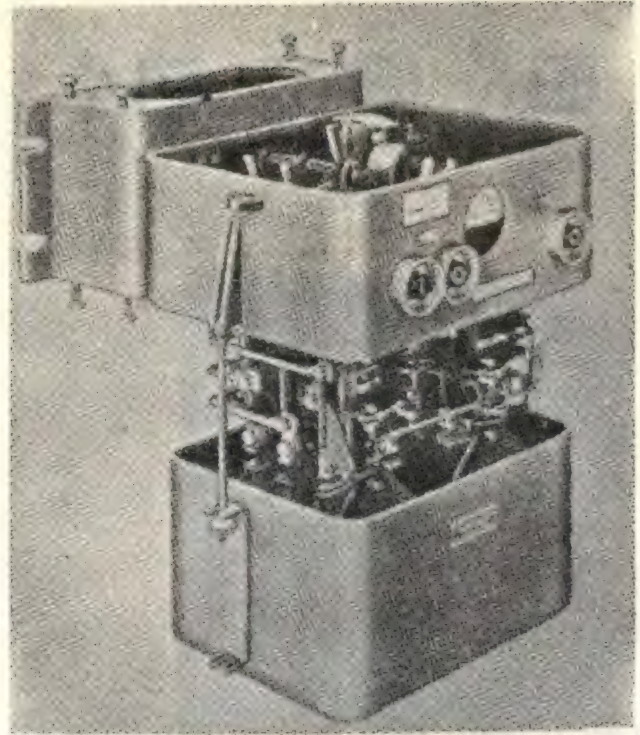
## ٢ - بادئات التشغيل :

تستخدم هذه الوسائل في تشغيل المحركات المتوسطة والكبيرة والتي يخشى توصيلها مباشرة بمصدر التغذية عند بدء تشغيلها ، حيث أن زيادة تيار بدء التشغيل لهذه المحركات قد تؤدي إلى حرقها . وقد تكون بادئات التشغيل على هيئة مقاومات توصل على التوالي بالمحركات عند بدء تشغيلها ، ويتم فصل هذه المقاومات تدريجياً الواحدة بعد الأخرى كلما زادت سرعة المحرك ، حتى تخرج بادئات التشغيل كلها من الدائرة عندما تصل سرعة المحرك إلى السرعة المقننة . وتتلّف وسائل بدء التشغيل عادة إذا ما تعرضت لأحمال كبيرة ولمدد طويلة . ويبين شكل (١١٥) إحدى وسائل بدء التشغيل الملائمة للمحركات ذات الأحمال الكبيرة والتي تتعرض لعدد كبير من مرات التشغيل والإيقاف . وهي تتكون من عدة مقاومات على هيئة ألواح مبططة متصلة ببعضها البعض . وبادئات التشغيل التي لها هذا الشكل تسمى بادئات تشغيل على شكل طبل ، وهذا النوع قليل الاستعمال . ويبين شكل (١١٦) بادئ تشغيل تجارى يستعمل في الأغراض العامة . وفي بعض الأحيان تستخدم السوائل ( كحلول الصودا مثلاً ) كمقاومات بدء التشغيل ، مثل تلك المبينة في شكل (١١٧) .





الشكل (١٠٥) مفتاح كهربائي مانع لتسرب الماء إلى داخله



الشكل (١٠٤) مفتاح للاستخدام في إدارة المحركات .



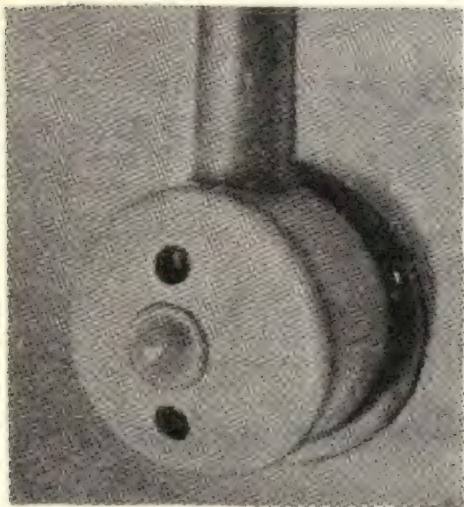
الشكل (١٠٦) رمز تخطيطي لمفاتيح السكينة

١ - مفتاح توصيل

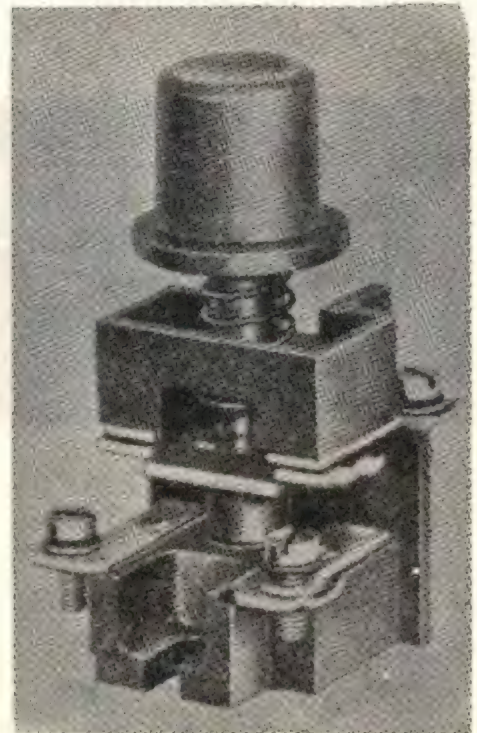
٢ - قاطع .

٣ - مفتاح ثنائي القطب للقطع والوصل .

الشكل (١٠٧) مفتاح للتركيب في لوحات التوزيع

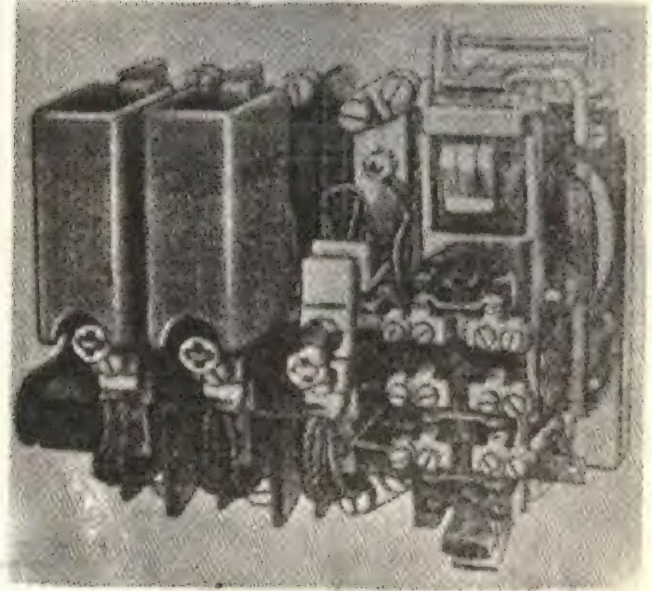
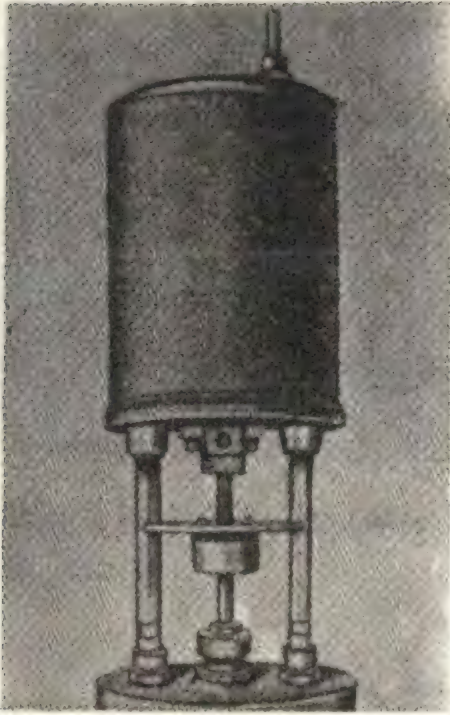
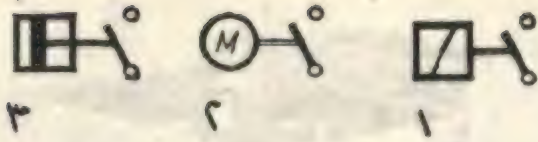


الشكل (١٠٨) مفتاح سكينة للاستخدام في إنارة السلم



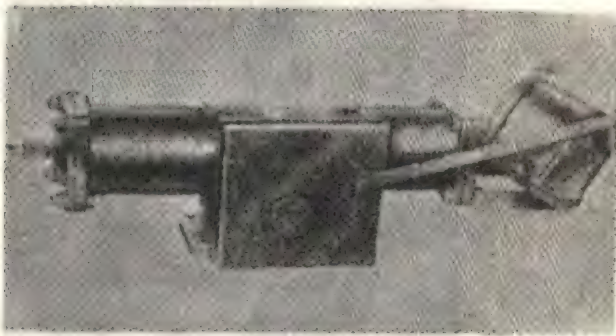


الشكل (١٠٩) رمز تخطيطي للأشكال  
المختلفة لمفاتيح التحكم من بعد  
١ - مفتاح يعمل بمغناطيس كهربائي  
٢ - مفتاح يعمل بمحرك كهربائي  
٣ - مفتاح يعمل بالهواء المضغوط



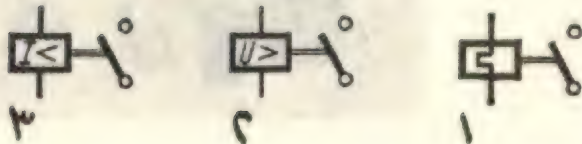
الشكل (١١١) مفتاح تحكم من بعد  
يعمل بواسطة محرك كهربائي

الشكل (١١٠) مفتاح تحكم من بعد يعمل بواسطة  
مغناطيس كهربائي



الشكل (١١٢) مفتاح تحكم من بعد يعمل  
بواسطة الهواء المضغوط

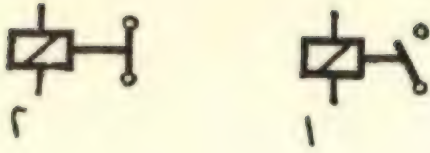
الشكل (١١٣) رمز تخطيطي للأشكال المختلفة  
لوسائل العتق



١ - وسيلة عتق تعمل بالحرارة  
٢ - وسيلة تعمل عند ارتفاع الجهد .  
٣ - وسيلة عتق تعمل عند انخفاض شدة التيار .



## الشكل (١١٤) رمز تخطيطي لأنواع المرحلات



١ - مرحل يعمل عند فتح الدائرة

٢ - مرحل يعمل عند غلق الدائرة

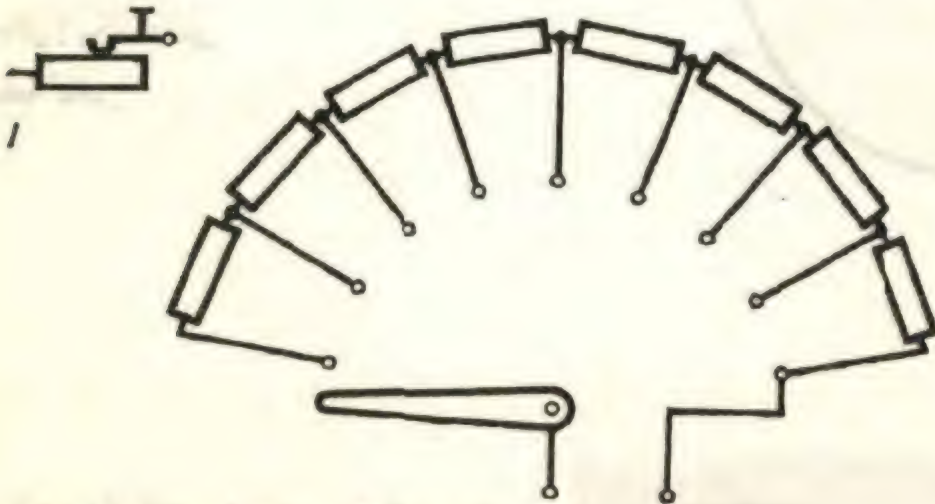
## ٣ - عناصر التحكم :

هي عناصر تستخدم لتغيير أوضاع تشغيل الآلات الكهربائية ، مثال ذلك عناصر التحكم المستخدمة لتغيير سرعة المحركات أو تغيير إثارة المولدات أو ضبطها حسب الحاجة . ولعناصر التحكم نفس مميزات عمل بادئات التشغيل ونفس تصميمها ، إلا أنه يمكن تحميلها لمدد طويلة . والبادئات المستخدمة للتحكم في سرعة المحركات وضبطها مشابهة لعناصر التحكم تماماً ، غير أنه يقتصر تشغيلها على تنظيم سرعة المحركات وليس لأغراض بدء تشغيلها .

## ٤ - وسائل القرن :

تستخدم هذه الوسائل عادة لتوصيل مصادر التغذية الثابتة بالأجهزة أو الآلات غير الثابتة أو المتحركة أو القابلة للنقل . ومثال ذلك توصيل أجهزة الراديو أو السخانات أو المصابيح المتنقلة أو المشابك اليدوية أو الخلاطات بمصادر التغذية . وتبين الأشكال من (١١٨) إلى (١٢١) أكثر نظم القرن استعمالاً وشيوعاً ، وأهمها القابس والمقبس .

وتستخدم في بعض هذه الوسائل بالإضافة إلى الملامسات الحية ملامسات للحماية ، لتوصيل الأجهزة بالأرض خلال هذه الملامسات المؤرضة أو لتوصيل الأجهزة بنقطة التعادل . وعند وضع المقبس في القابس يدخل ملامس الحماية في ثقب القابس المؤرض قبل دخول بقية الملامسات الحية في ثقبها .

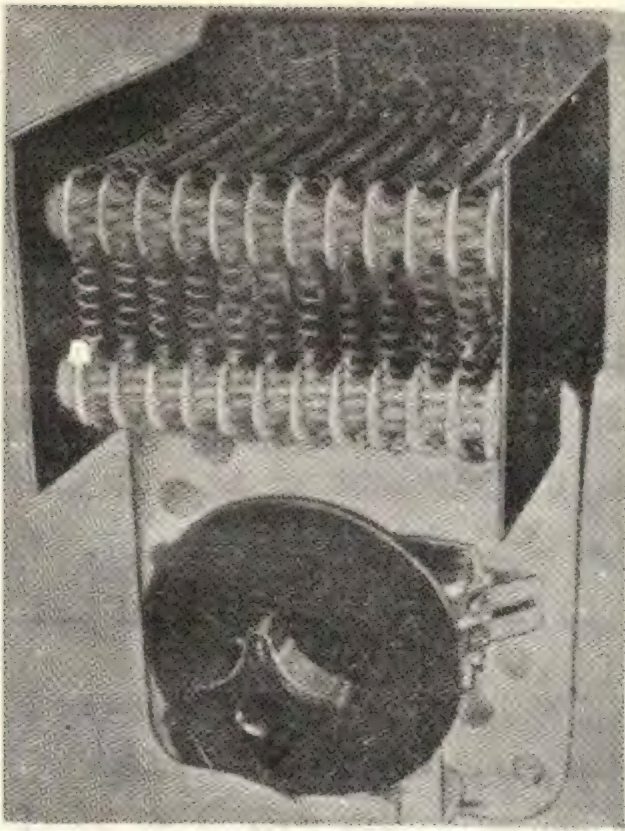


## الشكل (١١٥) وسيلة بدء التشغيل .

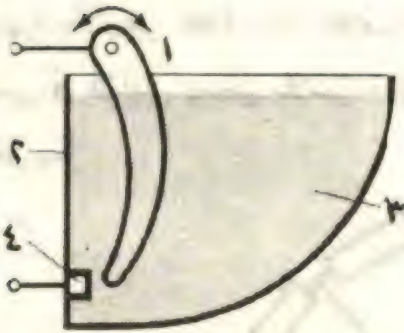
١ - رمز تخطيطي لوسيلة بدء تشغيل .

٢ - رسم تخطيطي لوسيلة بدء تشغيل مكونة من مقاومات مسطحة .





الشكل (١١٦) منظر عام لوسيلة بدء تشغيل عادية



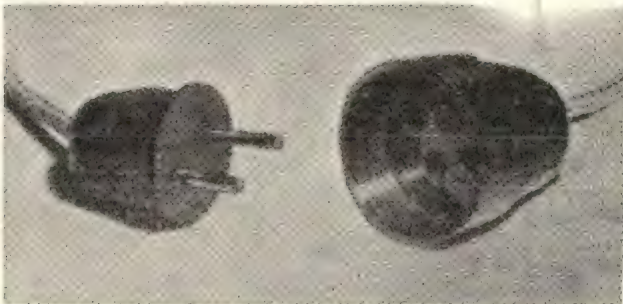
الشكل (١١٧) رسم تخطيطي لوسيلة بدء تشغيل بالسائل

١ - قطعة تماس دوارة على شكل قوس

٢ - وعاء من البلاستيك

٣ - سائل إلكتروني

٤ - قطعة تماس



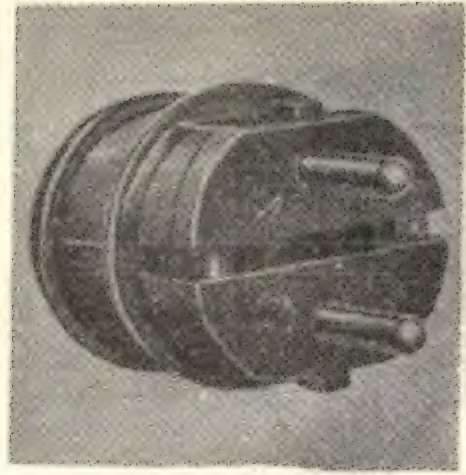
الشكل (١١٨) قابس ومقبس بدون وسيلة

تأريض (للحماية)

١ - مقبس يستخدم كقارن لقابس ثابت أو متحرك

٢ - قابس ومقبس متحركين

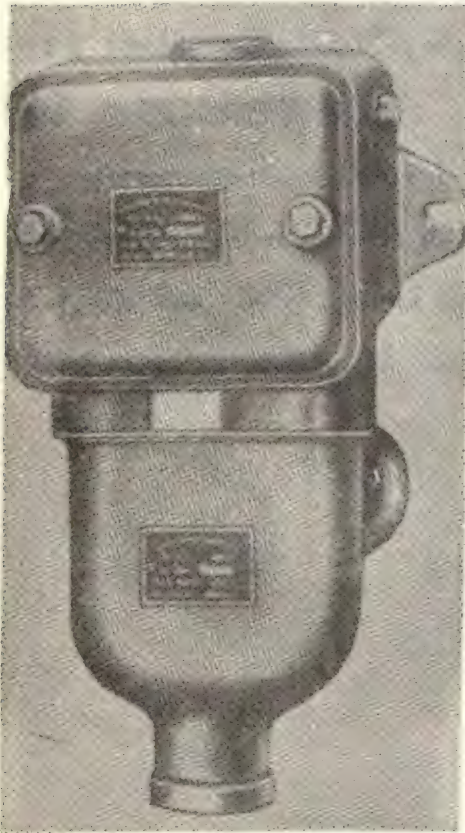




الشكل (١١٩) قابس ومقبس مزودان بوسيلة تأريض للحماية

( أ ) قابس ثابت يستخدم معه مقبس قابل للحركة

( ب ) قابس ومقبس كل منهما قابل للحركة .



الشكل (١٢١) قابس ومقبس بطاقة عالية

( طراز شروود )

يستخدم القابس والمقبس ذو الطاقة العالية في الدوائر الكهربائية وفي الأغراض التي تحتاج إلى نظام قرن قابل للحركة. ويتحمل هذا النوع الاستعمال الشديد والخدمة الشاقة. فتستخدم في معدات الزراعة وفي المناجم وفي الصناعة .

الشكل (١٢٠) نظام قارن من قابس ومقبس

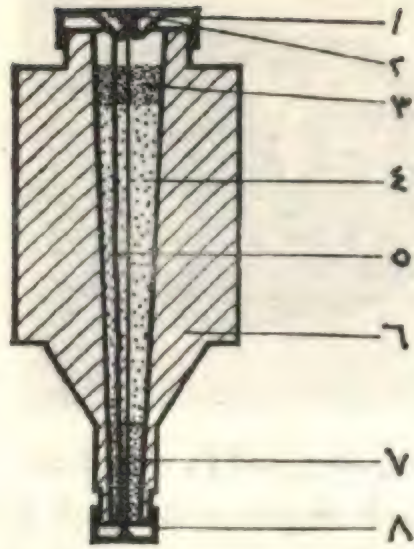
يستخدم للأجهزة المنزلية

١ - قابس ثابت مزود بحلقات للحماية ( يثبت بالجهاز )

٢ - مقبس متحرك



### الشكل (١٢٢) وصلة مصهر من النوع العادى

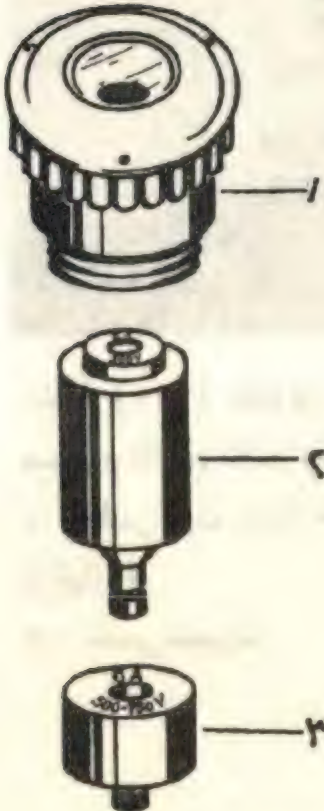


- ١ - سطح التلامس
- ٢ - قرص البيان
- ٣ - اسبستوس
- ٤ - رمل
- ٥ - عنصر المصهر
- ٦ - الوعاء الصينى العازل
- ٧ - مادة لاصقة
- ٨ - بنز التلامس

### (٤٠) المصاهر والقواطع الأتوماتيكية :

#### (أ) مصاهر الجهد المنخفض :

تستخدم المصاهر فى الجهد المنخفض لتقوم بنفس العمل الذى تؤديه فى الجهد العالى ، وهو حماية المعدات والأجهزة الكهربائية وعناصر الدوائر الكهربائية من التيارات الزائدة على اللازم أو من تيار قصر الدائرة، وخاصة الذى لا يستمر لفترة طويلة ولكنه من الشدة بحيث يؤدى إلى تلف هذه الأجهزة . ويتلخص عمل المصهر فى أن عنصره ينصهر بمجرد زيادة التيار على حد معين .



### الشكل (١٢٣) مكونات المصهر العادى

- ١ - الفطاء الملولب
- ٢ - وصلة المصهر
- ٣ - الحلقة الخاكة





الشكل (١٢٤) خرطوشة للقطع والوصل تلقائياً

وتصنع المصاهر عادة بمقننات مختلفة حتى ٦٠ أمبير . ويتكون المصهر من الأجزاء الرئيسية التالية : قاعدة المصهر - الحلقة الحاكة - وصلة المصهر - الغطاء اللولبي . ويبين شكل (١٢٢) تصميمًا لوصلة مصهر من النوع العادي المستخدم في حماية خطوط التغذية في الجهد المنخفض . ومن المعروف أن وصلات المصهر تصمم عادة لتلائم الجهد والتيار اللذين يعمل عليهما المصهر ، على أن يراعى في تصميمها أيضاً عدم حدوث أى خطر نتيجة للإهمال أو عدم الاكتراث في اختبار المصهر المناسب . ولذلك تصمم قاعدة المصاهر بحيث لا يسمح بوضع وصلة مصهر بمقنن أكبر في قاعدة مصهر بمقنن صغير ، وعلى ذلك لا يمكن لوصلة مصهر ٣٥ أمبير أن تدخل في قاعدة مصهر ١٠ أمبير .

ويبين شكل (١٢٣) الغطاء اللولبي ووصلة المصهر والحلقة الحاكة لأحد المصاهر المستخدمة في حماية خط تغذية . ويكون القطر الخارجى للملامس المدنى الموجود في نهاية وصلة المصهر ملائماً تماماً للقطر الداخلى للحلقة الحاكة ، وبذلك تضمن عدم وضع وصلة مصهر في قاعدة أو غطاء مصهر بمقنن أقل . وتستخدم في هذه المصاهر لوحة بيان تدل على حالة عنصر المصهر ، أى ما إذا كان في حالة سليمة من عدمه . وتوضع لوحات البيان هذه على السطح الأمامى لوصلة المصهر . وتتكون لوحة البيان عادة من صفيحة صغيرة متصلة بفتيلة المصهر عن طريق سلك زنبركى . وعندما تنصهر فتيلة المصهر يقوم السلك الزنبركى بدفع لوحة البيان من مكانها فتسقط ، وفي هذه الحالة يلزم تغيير وصلة المصهر بأكملها بأخرى لها نفس قيمة التيار المقنن ( وقد سبق شرح عمل لوحة البيان في مصاهر الجهد العالى ) . وتلون لوحة البيان عادة بألوان مختلفة يدل كل لون منها على التيار المقنن الخاص بوصلة المصهر . فيدل اللون الأحمر على أن التيار المقنن ١٠ أمبير ، واللون الأزرق على أن التيار المقنن ٢٠ أمبير ، وهكذا .



## (ب) القواطع الأتوماتيكية :

تستخدم وسائل القطع الأتوماتيكية لحماية المعدات والأجهزة والمحركات . وتختلف وسائل القطع الأتوماتيكية عن المصاهر في إمكانية استعمالها عدداً غير محدود من الممرات دون حاجة إلى تغيير أى جزء فيها . ويبين شكل (١٢٤) أحد أنواع القواطع الأتوماتيكية . وتفيد هذه الوسائل في حماية المعدات من التيار الزائد على التيار المقنن ولو بنسبة ضئيلة إذا استمر لفترة طويلة . ويتم تشغيل هذه الوسائل لقطع الدائرة الكهربائية بإحدى الطرق الآتية :

( أ ) بطريقة حرارية .

( ب ) بطريقة مغناطيسية .

( ج ) بطريقة ميكانيكية .

## ( أ ) وسائل القطع بالطرق الحرارية :

يفضل استخدام الطريقة الحرارية في وسائل القطع الأتوماتيكية ، وخاصة إذا كانت زيادة التيار تتم بطريقة تدريجية ولمدة طويلة .

ويتلخص عمل وسائل القطع بالطريقة الحرارية في الآتي :

تؤدي زيادة تيار التشغيل على حد معين إلى تسخين جزء ثنائى المعدن ، يتمدد بالتسخين نتيجة لمرور التيار الزائد فيه بطريقة مباشرة أو بطريقة غير مباشرة . فعندما يتمدد الجزء الثنائى المعدن حتى يصل إلى حد معين فإنه يدفع أمامه سقطة تؤدي إلى فتح الدائرة الكهربائية عن طريق وسيلة عتق كتلك التى سبق شرحها .

ولا تفيد هذه الوسائل إلا إذا كانت زيادة التيار تتم تدريجياً . أما إذا تمت فجأة وبسرعة شديدة بحيث لا تعطى للجزء الثنائى المعدن فرصة للتمدد ليقوم بفتح الدائرة في الوقت المناسب ، فيفضل في هذه الحالة استخدام الطريقة الكهرومغناطيسية .

## (ب) وسائل القطع بالطرق الكهرومغناطيسية :

يفضل استخدام الطرق الكهرومغناطيسية في وسائل القطع الأتوماتيكية إذا كانت زيادة التيار تتم فجائياً ، حيث أن هذه الوسائل تستجيب بسرعة كبيرة لزيادة التيار فتقوم بفتح الدائرة بمجرد زيادته . وبالإضافة إلى الوسيلتين السابقتين ، توجد الوسائل الميكانيكية .

## (ج) وسائل القطع الميكانيكية ( مفاتيح التلامس ) :

يطلق على وسائل القطع بالطرق الميكانيكية اسم « مفاتيح التلامس » ، ويستخدم فيها ذراع أو زر عند الضغط عليه يدوياً أو بأية وسيلة أوتوماتيكية يقوم بتشغيل المفصّل ، لقطع الدائرة فوراً عند حدوث عطل أو خلل . ويختار مفتاح التلامس ليتناسب مع ظروف التشغيل التى

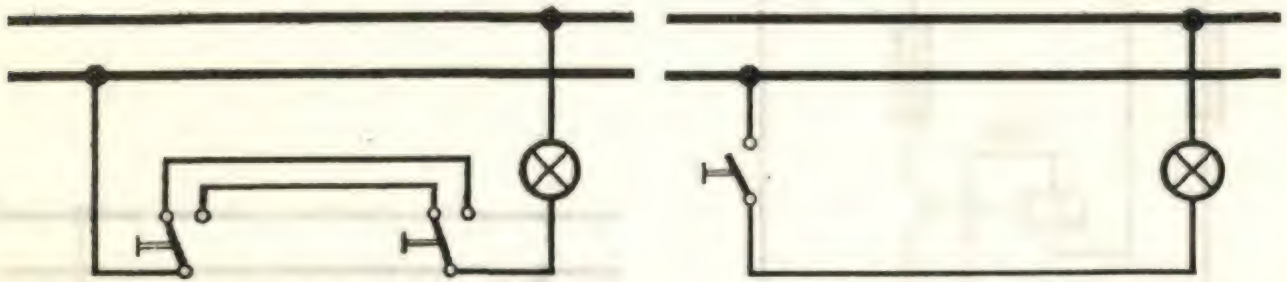


سيستخدم فيها . وتمتاز هذه الوسائل بإمكان إعادةتها إلى وضع التشغيل العادى بعد إصلاح الخلل دون حاجة إلى تغيير أى جزء فيها ، على غير ما يحدث فى المصاهر التى تحتاج إلى تغيير وصلة المصهر بعد حدوث العطل .

#### (٤١) طرق توصيل الطاقة الكهربائية إلى المباني :

##### ١ - دوائر التمديدات والتوصيلات :

تبين الأشكال من (١٢٥) إلى (١٣٠) عدة دوائر للتمديدات والتوصيلات الكهربائية المستخدمة فى الجهد المنخفض ، كما تبين هذه الأشكال كيفية توصيل المفاتيح فى دوائر الإنارة أو دوائر القدرة بجهد منخفض داخل المباني .



الشكل (١٢٦) مفتاح بدائرة تشغيل بطريقتين . يمكن بهذه المفاتيح قطع أو وصل عناصر الدائرة ( مثل المصابيح ) من نقطتين مختلفتين بواسطة مفتاحين .

الشكل (١٢٥) دائرة بمفتاح قطع ووصل . يمكن قطع ووصل عناصر الدائرة ( مثل المصابيح ) بواسطة مفتاح تحكم .

##### ٢ - التوصيلات الكهربائية إلى المباني :

يمكن توصيل الطاقة الكهربائية بجهد منخفض إلى المباني بواسطة خطوط هوائية محمولة على أعمدة خشبية كما فى الشكل (١٣١) أو بواسطة كبلات مدفونة تحت الأرض كما فى الشكل (١٣٢)

##### ٣ - التوصيلات الكهربائية داخل المباني :

يمكن تصنيف التوصيلات الكهربائية داخل غرف المباني إلى :

- توصيلات كهربائية خاصة بالغرف الرطبة .
- توصيلات كهربائية خاصة بالغرف الخاصة .
- توصيلات بأسلاك معزولة وموضوعة تحت الجبس مباشرة .
- توصيلات بأسلاك معزولة مدفونة داخل الحائط .

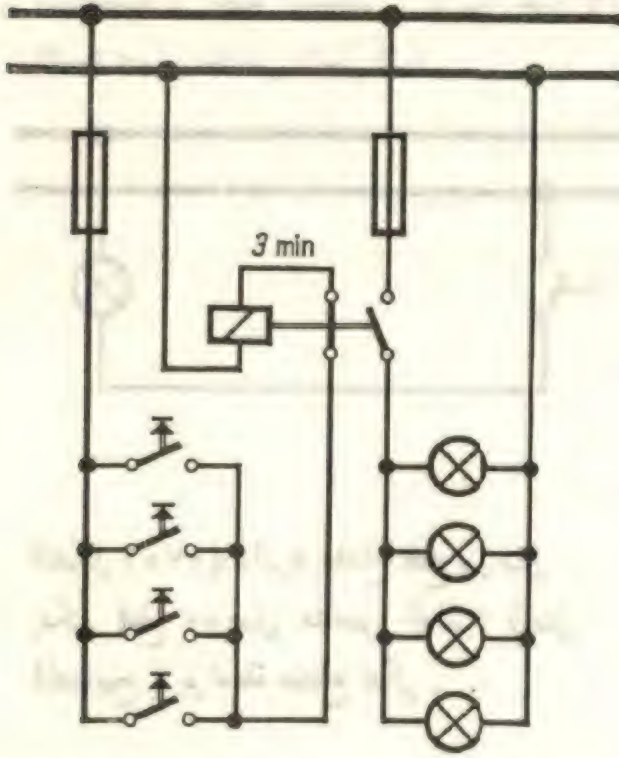


- توصيلات سطحية بأسلاك موضوعة على سطح الحائط .

- توصيلات بأسلاك داخل مواسير صلب أو مواسير مطاط .

وتبين الأشكال من (١٣٣) إلى (١٣٨) الطرق المختلفة المستخدمة في تركيب التوصيلات

الكهربائية داخل غرف المباني .



الشكل (١٢٨) مفاتيح مزودة بمرحل زمني

تستخدم في إنارة السلم لفترة محددة

توصل المصابيح كلها على التوازي

كما توصل المفاتيح أيضا على التوازي . وعند

تشغيل أحد المفاتيح يستجيب له المرحل

ويقوم بإنارة مصابيح السلم . ويوصل المرحل

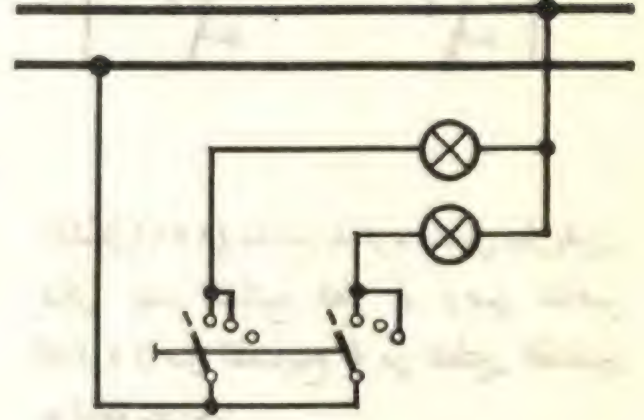
بوسيلة تعمل ميكانيكيا أو بواسطة الهواء

المضغوط لفصل التيار عن المرحل بعد زمن

محدد من بداية تشغيله . وعندما يتم فصل التيار

عن المرحل يمكن بعد ذلك تشغيله بواسطة أي

مفتاح مرة أخرى .



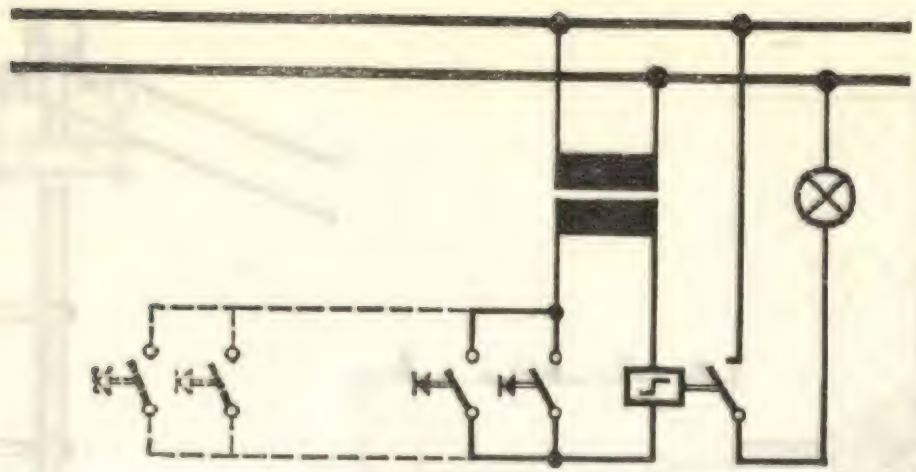
الشكل (١٢٧) دائرة توال

يمكن بهذه الدائرة قطع ووصل عناصر

دائرتين معا أو عناصر كل دائرة منهما على

حدة باستخدام مفتاح تحكم وحيد .





الشكل (١٢٩) التحكم من بعد في التوكيبات والمعدات الكهربية

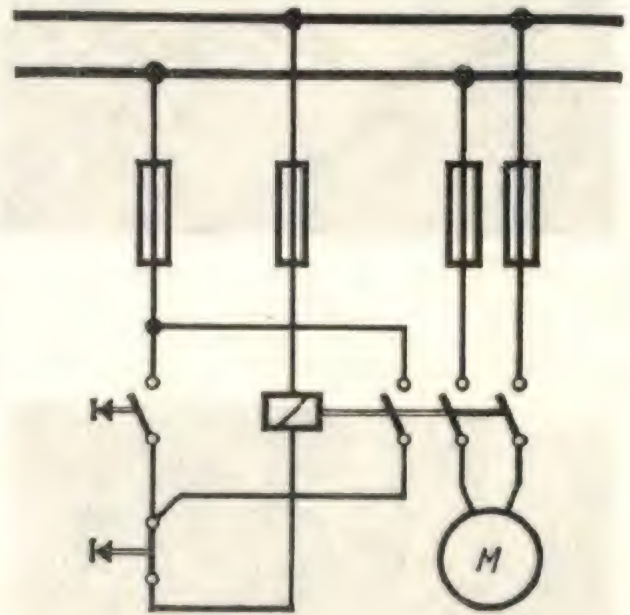
يستخدم لهذا الغرض معدات للقطع والوصل لا تعود تلقائيا إلى الوضع الأصلي بعد قياسها بعملية القطع أو بعملية الوصل ، مثل المرحلات .

و يتم تشغيل المرحل النبضي عادة من على مسافة بعيدة من هذه المعدات باستخدام جهد منخفض ( ٨ إلى ١٢ فلت ) . وعندما يمر بالمرحل أى نبضة من نبضات تيار التحكم من هذه الأماكن البعيدة فإنها تقوم بعملية القطع أو عملية الوصل المطلوبة ، ويظل على هذه الحال حتى يمر به النبضة التالية . ولإمكان إجراء عمليات التحكم من بعد . توصل المفاتيح المستخدمة في عملية القطع والوصل للدوائر المختلفة على التوازي مع المرحل ، وبذلك يمكن التحكم من بعد في وصل أو قطع التيار عن عناصر الدوائر المتصلة على التوازي بواسطة المرحل .

الشكل (١٣٠) معدات القطع والوصل المستخدمة في المحركات ( مفاتيح التلامس )

يستخدم في هذا الغرض معدات القطع والوصل التي تعود تلقائيا إلى وضعها الأصلي بعد إجراء عملية القطع أو الوصل .

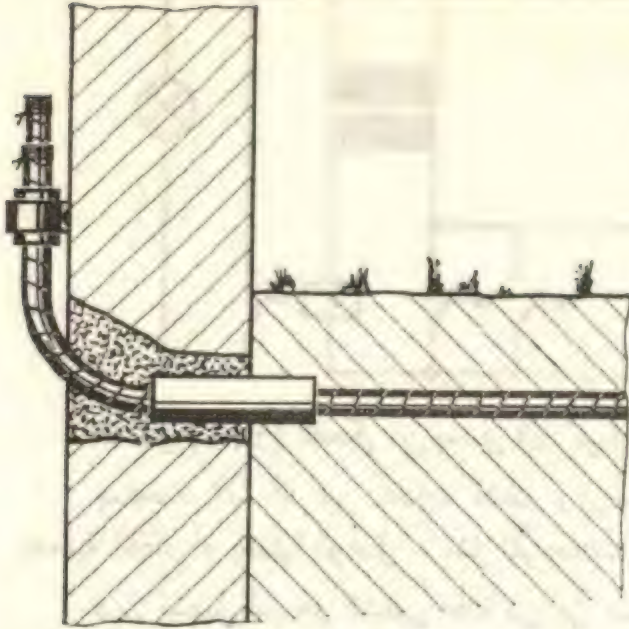
ففي الشكل عندما يتم تشغيل مفتاح المحرك بالضغط على زر التشغيل يمر التيار عن طريق الزرار خلال ملف المفتاح ، فيتولد بالملف مجال مغنطيسي يؤدي إلى تحريك ثلاثة ملامسات : يستخدم ملامسان منها لخلق دائرة المحرك الأخير ، بينما يستخدم الملامس الثالث



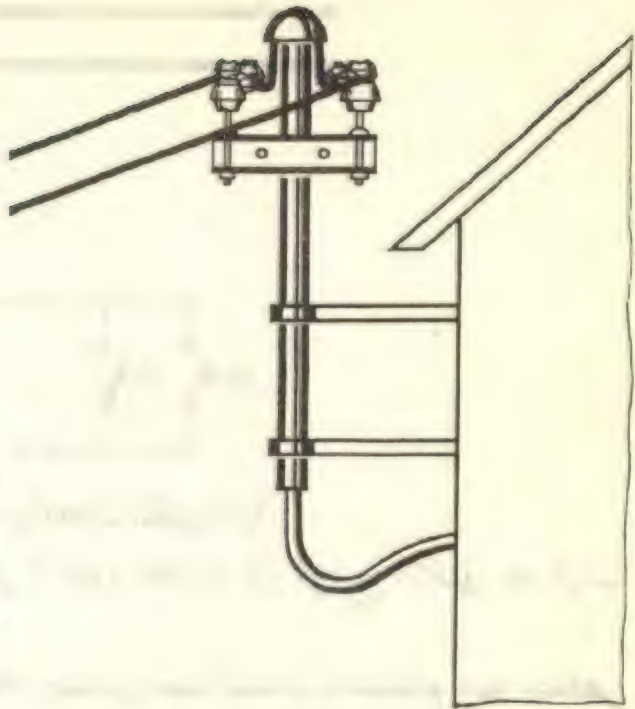
لتغذية الملف بالتيار اللازم بدلا من ملامسات الزر الذي يعود إلى مكانه الأصلي تلقائيا بعد عملية الضغط عليه مباشرة . وعند الضغط على زر الإيقاف ، يقطع التيار عن ملف المفتاح ، وينقطع المجال المغنطيسي ، وبذلك تنفصل الملامسات ويتوقف دوران المحرك ويعود زر الإيقاف إلى مكانه الأصلي . وعندما يراد تشغيل المحرك مرة ثانية يضغط على زر التشغيل ، وهكذا .

و تمتاز مفاتيح التلامس بإمكان تشغيلها عددا كبيرا من المرات .





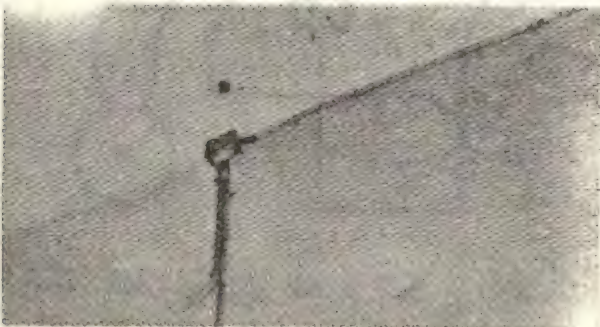
الشكل (١٣٢) كيفية إمداد المنازل بالطاقة  
الكهربائية بواسطة الكبلات الأرضية



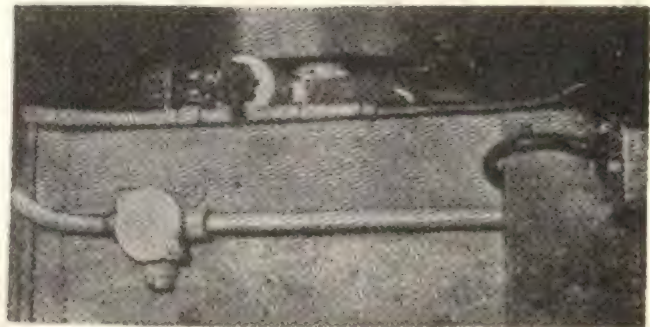
الشكل (١٣١) كيفية إمداد المنازل بالطاقة  
الكهربائية بواسطة الخطوط الهوائية .



الشكل (١٣٣) كيفية وضع الموصلات في  
واسير قابلة للتحرك .



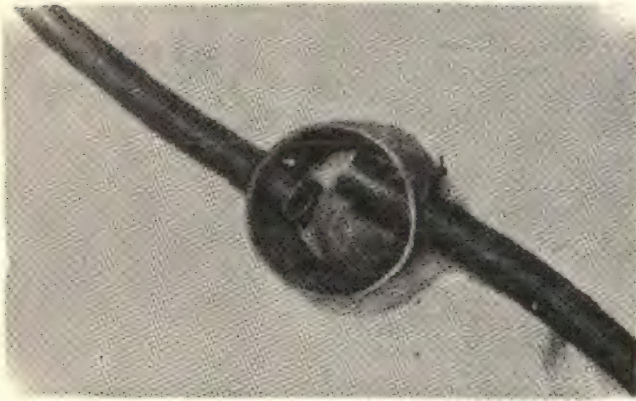
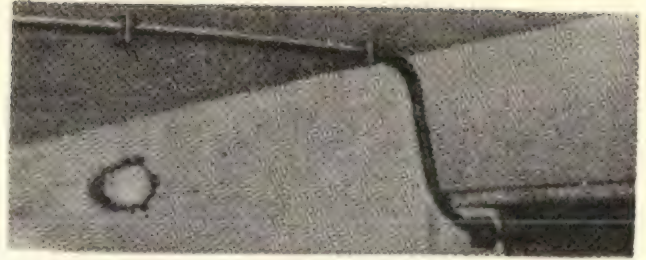
الشكل (١٣٥) وضع الموصلات داخل مواسير  
معدنية مبطنة من الداخل بمادة عازلة للاستخدام  
في التوصيلات داخل المباني .



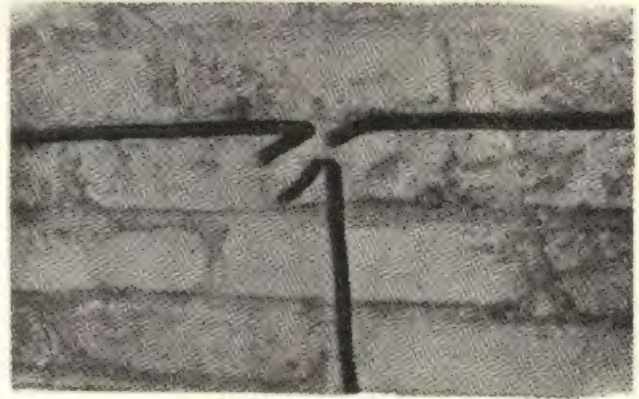
الشكل (١٣٤) وضع الموصلات في مواسير  
صلب لتركيبها بالماكينات



الشكل (١٣٦) موصلات معزولة ومبطنة  
لحمايتها ضد تسرب الماء إلى داخلها . تركيب  
بواسطة مسامير شك .



الشكل (١٣٨) مواسير مطاط مفلكن وصناديق  
تفرع مطاطية أيضا معدة للتركيب تحت المصيص  
ويتم سحب الموصلات المعزولة داخل هذه  
المواسير بعد عملية الطلاء بالمصيص



الشكل (١٣٧) الاسلاك الشريطية المعزولة  
المستخدمة للتركيب تحت المصيص ( بدون  
مواسير ) .



## الباب الخامس

### أجهزة تحويل نوع من الطاقة الكهربائية الى نوع آخر من الطاقة الكهربائية

#### أولا : المحولات

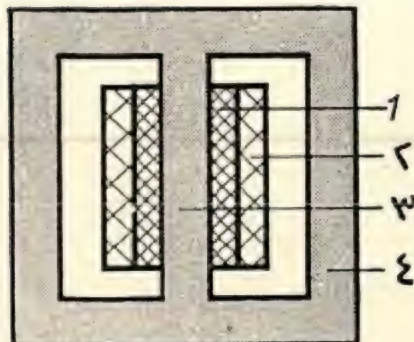
تستخدم المحولات لتحويل التيارات والجهود المترددة بقيم معينة ( الداخلة إلى ملفاتها الابتدائية ) إلى تيارات وجهود مترددة بقيم أخرى ( تخرج من ملفاتها الثانوية ) .

#### (٤٢) التعريف بأساسيات المحول :

يستخدم المحول المثالى عادة لشرح المحول العادى وكيفية عمله بطريقة مبسطة . والمحول المثالى هو محول عادى افترض فيه عدم وجود بعض حقائق أو ظواهر معينة من جانب التسهيل ( مثل إهمال الفقد فى الحديد والنحاس ) . ويبين الشكل (١٤٩) رسما تخطيطيا بالمحول المثالى ، وهو يتكون من ملف ابتدائى وملف ثانوى . ولتركيز الخطوط المغنطيسية فى الملفات وزيادة كفاءة المحول توضع الملفات عادة حول قلب حديدى مصنوع من رقائق من الألواح المعزولة المصنوعة من الحديد السلكوفى . وتسمى هذه الألواح « ألواح الدينمو » . وتتكون الدائرة المغنطيسية للمحول من القلوب الحديدية والملفات المرتبة حولها ، ومن جزء حديدى آخر من نفس نوع الحديد يستخدم فى قفل الدائرة المغنطيسية ، وهذا الجزء الحديدى الذى لا توجد حوله أى ملفات يسمى « المقرن » . وفيما يلى شرح لأساسيات المحول وتعريفها :

#### ( أ ) طريقة عمل المحول :

إذا سلط جهد متردد جـ<sub>١</sub> على الملفات الابتدائية فإنه يمر بها تيار متردد ت<sub>١</sub> يؤدي إلى تولد مجال مغنطيسى متردد تتجمع كل خطوطه داخل الحديد ، وتخترق الملفات الثانوية ، فتولد فيها قوة دافعة كهربائية مترددة جـ<sub>٢</sub> وعند تحميل الملف الثانوى يمر به تيار متردد ت<sub>٢</sub> .



الشكل (١٣٩) رسم تخطيطى لمحول

- ١ - الملفات الابتدائية .
- ٢ - الملفات الثانوية
- ٣ - قلب المحول ( الساق )
- ٤ - المقرن .



ومن الممكن تعريف المحول بأنه أداة تستخدم في رفع أو خفض جهد تيار متردد بدون فقد كبير ، أى أن القدرة الداخلة فيه تساوى القدرة الخارجة تقريبا .

$$ج_١ \times ت_١ = ج_٢ \times ت_٢$$

(ب) نسبة التحويل في المحول :

تعرف النسبة بين الجهد الثانوى  $ج_٢$  إلى الجهد الابتدائى  $ج_١$  بأنها «نسبة التحويل في المحول» ، وهى تساوى النسبة بين عدد لفات الملف الثانوى  $ن_٢$  إلى عدد لفات الملف الابتدائى  $ن_١$

$$\text{نسبة التحويل} = \frac{ج_٢}{ج_١} = \frac{ن_٢}{ن_١}$$

$$\text{وحيث أن } ج_١ \times ت_١ = ج_٢ \times ت_٢$$

$$\therefore \frac{ج_٢}{ج_١} = \frac{ت_١}{ت_٢} \quad \text{أى أن} \quad \frac{ج_٢}{ج_١} = \frac{ت_١}{ت_٢} = \frac{ن_٢}{ن_١}$$

ويبين المثال التالى كيفية حساب الجهد الثانوى أو التيار الثانوى بمعرفة التيار الابتدائى أو الجهد الابتدائى مع معرفة نسبة التحويل .

مثال :

إذا كان عدد لفات الملف الابتدائى  $ن_١ = ١٥٠٠$  لفة والجهد الابتدائى المسلط على هذا الملف  $ج_١ = ٢٢٠$  فلت . وكان عدد لفات الملف الثانوى مساويا لعدد لفات الملف الابتدائى أى  $ن_٢ = ١٥٠٠$  ، لفة فإن الجهد الذى يظهر بين أطراف الملف الثانوى  $ج_٢ = ٢٢٠$  فلت أيضا

$$\text{لأن} \quad \frac{ج_٢}{ج_١} = \frac{ن_٢}{ن_١}$$

أما إذا كان عدد لفات الملف الثانوى  $ن_٢ = ٧٥٠$  لفة ، فإن الجهد الذى يظهر بين أطراف

$$\text{الملف الثانوى} = ١١٠ \text{ فلت حيث أن} \quad \frac{ج_٢}{ج_١} = \frac{ن_٢}{ن_١}$$

$$\therefore \frac{ج_٢}{٢٢٠} = \frac{٧٥٠}{١٥٠٠} \quad ج_٢ = ١١٠ \text{ فلت}$$

أى أن النسبة بين الجهد الابتدائى إلى الجهد الثانوى تتناسب تناسبا طرديا مع النسبة بين عدد

$$\text{لفات الملف الابتدائى إلى عدد لفات الملف الثانوى} ، \text{ أى} \quad \frac{ج_٢}{ج_١} = \frac{ن_٢}{ن_١}$$



أما بالنسبة بين شدة التيار المار في الملف الابتدائي إلى شدة التيار المار في الملف الثانوي فإنها تتناسب تناسباً عكسياً مع النسبة بين عدد لفات الملف الابتدائي إلى عدد لفات الملف الثانوي . أى أن  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$  . فإذا كانت شدة التيار المار في الملف الابتدائي ٥ أمبير ، وكان الجهد الابتدائي ٢٢٠ فلت ، وعدد لفات الملف الابتدائي ١٥٠٠ لفة ، وعدد لفات الملف الثانوي ٧٥٠ ، فباستخدام نسبة التحويل  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{J_2}{J_1}$  يمكن حساب شدة التيار المار في الملف الثانوي  $I_2 = 10$  أمبير والجهد  $J_2 = 110$  فلت .

### ( ج ) الفقد في المحول :

يلعب الفقد في المحول دوراً هاماً في تحديد كفاءة المحول . وينقسم الفقد في المحول إلى قسمين :

١ - الفقد في النحاس .

٢ - الفقد في الحديد .

#### ١ - الفقد في النحاس :

ينشأ الفقد في النحاس نتيجة لمرور التيار الابتدائي في الملفات الابتدائية ومرور التيار الثانوي في الملفات الثانوية .

وهو يساوى حاصل ضرب مربع التيار الابتدائي في مقاومة الملف الابتدائي + حاصل ضرب مربع التيار الثانوي في مقاومة الملف الثانوي .

$$\text{الفقد في النحاس} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2$$

ويسبب هذا الفقد انخفاض الجهد عند تشغيل المحول ، كما أن الفقد يتحول إلى حرارة ، وقد تؤدي زيادة هذه الحرارة على حد معين إلى حرق ملفات المحول .

#### ٢ - الفقد في الحديد :

تستخدم القلوب الحديدية والمقارن لتركيز خطوط القوى المغناطيسية في الملفات ، كما أنها تمنع تسرب أو الهروب هذه الخطوط المغناطيسية ، وبذلك تزيد من كفاءة المحول ، إلا أن هذا الحديد يتسبب في وجود فقد يطلق عليه اسم الفقد في الحديد .

وينقسم الفقد في الحديد إلى قسمين :

( أ ) الفقد بالتيارات الدوامية .

( ب ) والفقد بالتخلف المغناطيسي .



(أ) الفقد بالتيارات الدوامية : يستخدم في القلوب الحديدية وفي المقرن حديد سليكوني من أهم مميزاته مقاومته العالية للتيارات الدوامية ، وذلك لتقليل الفقد الناتج عن مرور التيارات الدوامية المتولدة بالحث بسبب تغير المجال المغنطيسي المتردد المار في الحديد .

والفقد بالتيارات الدوامية يساوى حاصل ضرب مربع التيار الدوامي في مقاومة الحديد السليكوني .

(ب) الفقد بالتخلف المغنطيسي : يتسبب مرور التيار المتردد في ملفات المحول في إيجاد منحنيات تمغنط في الحديد السليكوني . ولهذه المنحنيات اتجاهان متضادان ، نتيجة لمرور التيار المتردد في اتجاه معين وانخفاضه ثم مروره في الاتجاه العكسي . لذلك تتغير أقطاب الجزيئات المغنطيسية كلما تغير اتجاه المغنطة . وهذه العملية تؤدي إلى فقد في قدرة المحول يعرف باسم « الفقد بالتخلف المغنطيسي » . وترجع كلمة « التخلف » إلى أن تغير قطبية الجزيئات المغنطيسية لا يتم لحظيا بمجرد تغير اتجاه التيار ، وإنما يتخلف عنه بزمان معين .

ويتناسب الفقد بالتخلف المغنطيسي تناسباً طردياً مع عدد ذبذبات التيار المتردد في الثانية ومع كثافة الفيض المغنطيسي .

#### (د) كفاءة المحول :

يحدد الفقد في النحاس والفقد في الحديد كفاءة المحول

$$\text{لأن كفاء المحول} = \frac{\text{قدرة خرج المحول } P_2}{\text{قدرة دخل المحول } P_1}$$

وأن الفقد الكلي في المحول = قدرة الدخل  $P_1$  - قدرة المخرج  $P_2$

وتصل كفاءة المحولات ذات التصميم المتقن إلى ٩٩٪ .

#### (٤٣) أنواع المحولات وطرق تصميمها :

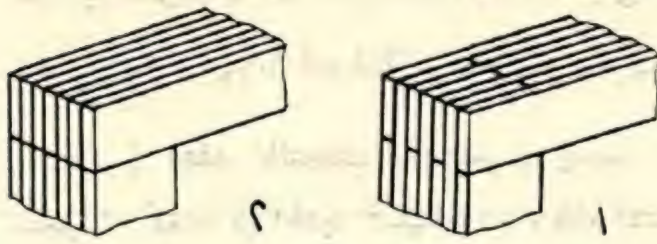
##### (أ) تصميم المحول :

لتحسين أداء المحولات وزيادة كفاءتها ، تستخدم في تصنيع المحولات أنواع معينة من رقائق الحديد السليكوني التي تصنع بأشكال مختلفة لتلائم التصميم والأداء المطلوبين للمحول (الشكلان ١٤٠ ، ١٤١) .

ويتميز الحديد السليكوني بمقاومته العالية للتيارات الدوامية لتقليل الفقد في الحديد . ويتكون المحول في معظم الأحيان من ملفين معزولين عن بعضهما البعض كهربائياً ، ويتكون كل منهما من عدد كبير من اللفات . وفي بعض الأحيان يزود أحد الملفين بعدة نقاط توصيل بينية ، وتفيد نقاط التوصيل البينية الموجودة في الملفات الثانوية في الحصول على جهود ثانوية بقيم مختلفة .



أما نقط التوصيل البينية الموجودة في الملفات الابتدائية فتفيد في استخدام المحول على جهود ابتدائية مختلفة . وتبين الأشكال ١٤٢ إلى ١٤٤ الطرق المختلفة لوضع وترتيب الملفات الابتدائية والثانوية حول القلوب المغنطيسية في محولات القدرة .

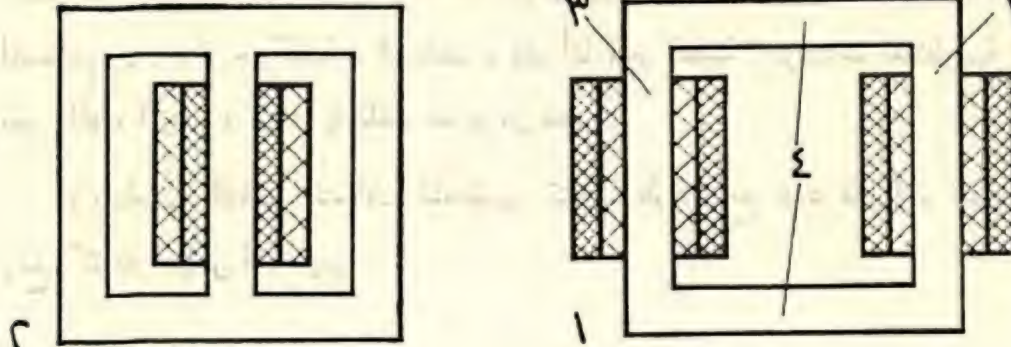


الشكل (١٤٠)

رقائق القلب الحديدي للمحول

١ - رقائق منفردة (متداخلة)

٢ - رقائق منتظمة .



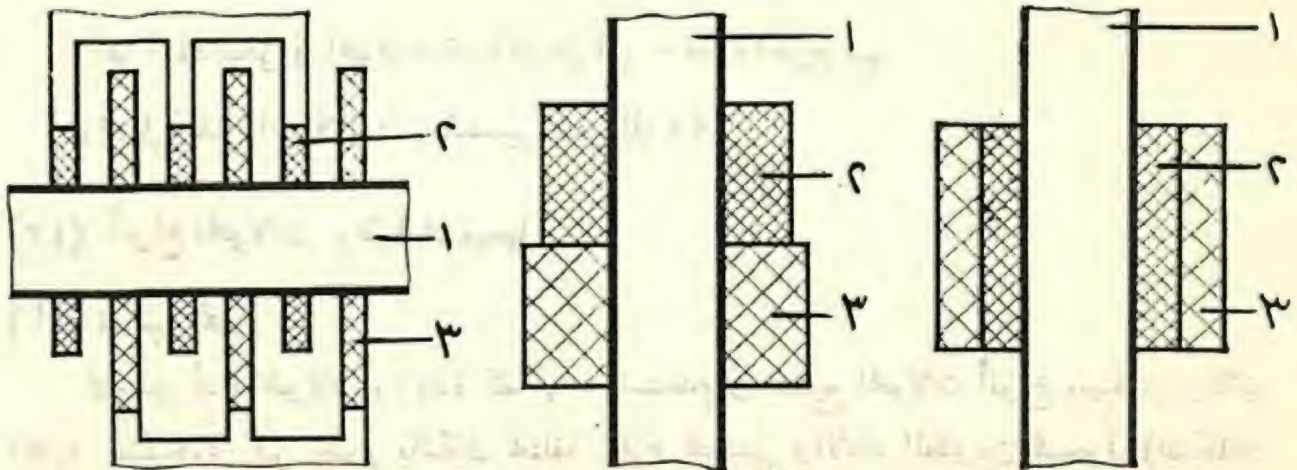
الشكل (١٤١) أشكال القلب الحديدي

١ - محول ذو قلب حديدي

٢ - القلوب الحديدية (السيقان)

٣ - المقارن

٤ - محول ذو دائرة مغنطيسية مغلقة



الشكل (١٤٢)

لف عادي بشكل قرص

الشكل (١٤٣)

لف بشكل غرفة

الشكل (١٤٤)

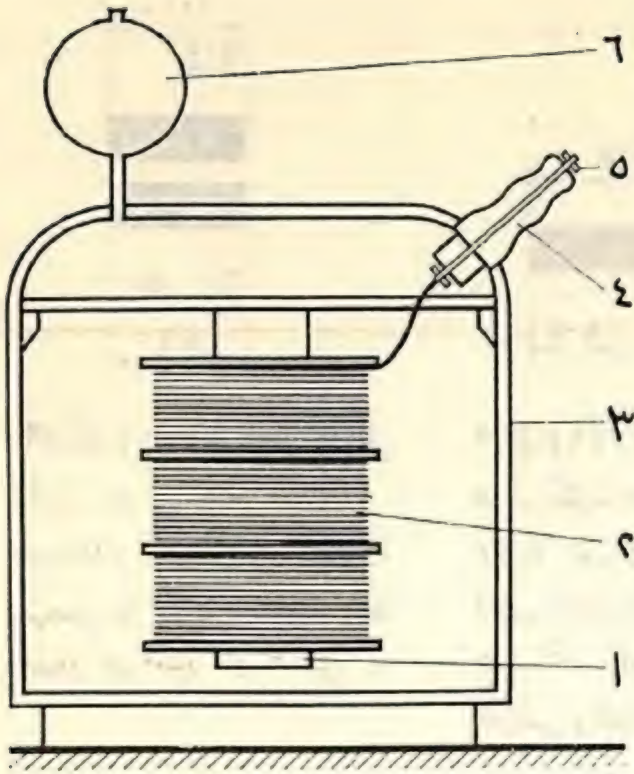
لف بشكل طيات

١ - القلب الحديدي (الساق) ١ - القلب الحديدي (الساق) ١ - القلب الحديدي (الساق)

٢ - الملفات الابتدائية . ٢ - الملفات الابتدائية . ٢ - الملفات الابتدائية .

٣ - الملفات الثانوية . ٣ - الملفات الثانوية . ٣ - الملفات الثانوية .





الشكل (١٤٥) رسم تخطيطي للمحول

- ١ - القلب الحديدي
- ٢ - الملفات .
- ٣ - خزان المحول .
- ٤ - عازل النهايات الداخلية ( العازل الصيني )
- ٥ - النهايات
- ٦ - خزان تمدد الزيت

أما شكل (١٤٥) فيبين أهم الأجزاء الرئيسية للمحول .

(ب) أنواع محولات القدرة :

يمكن تقسيم محولات القدرة إلى :

محولات وحيدة الطور : تصمم هذه المحولات بقدرات مختلفة لتلائم العمل في نظم التوزيع بالجهد المنخفض ، كما تستخدم أحيانا في نظم التوزيع بجهد عال . وتبين الأشكال من ١٤٦ إلى ١٥٠ بعض المحولات وحيدة الطور شائعة الاستعمال .

محولات ثلاثية الأطوار : تستخدم المحولات الثلاثية الأطوار ذات القدرة الكبيرة في تغذية المصانع وكبار المستهلكين بالطاقة الكهربائية بعد تحويل جهد التغذية العالى إلى جهد منخفض . وهذا النوع من المحولات يستخدم بدلا من ثلاثة محولات وحيدة الطور .

ويكثر استعمال المحولات التى تعمل على الجهود ١٠ ، ٢٠ ، ٣٠ ك.ف في نظم الجهد العالى . أما فى الجهد المنخفض فتستعمل عادة المحولات التى تعمل على جهد ٠,٤ ك.ف . ( ٤٠٠ فلت ) .

وهناك محولات ثلاثية الأطوار مصممة لكى تعمل فى نظم الجهد العالى حتى جهد ١١٠ ك.ف . أما بالنسبة للجهود التى تزيد على ذلك ، أى بالنسبة للجهود ٢٢٠ ك.ف ، ٣٨٠ ك.ف ،

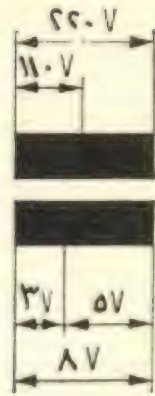
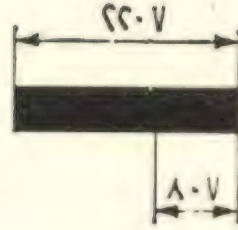
فتستخدم عادة ثلاثة محولات وحيدة الطور ، أى بوضع محول بكل طور من الأطوار الثلاثية .

ويبين شكل (١٥١) كيفية توصيل الدوائر الكهربائية المختلفة للمحولات ثلاثية الأطوار .

وتعتمد طرق اختبار وتركيب وتوصيل المحولات ، على كيفية استخدامها ونوع شبكة التغذية

التي سيوصل بها المحول ، كما تعتمد أيضا على نوع الحمل ومقداره .

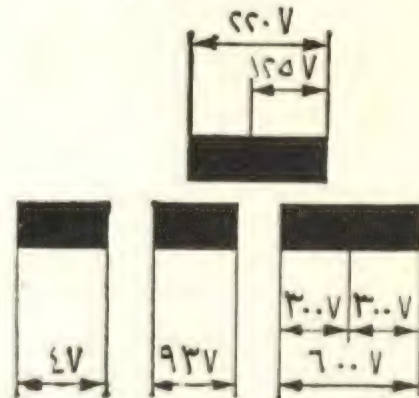
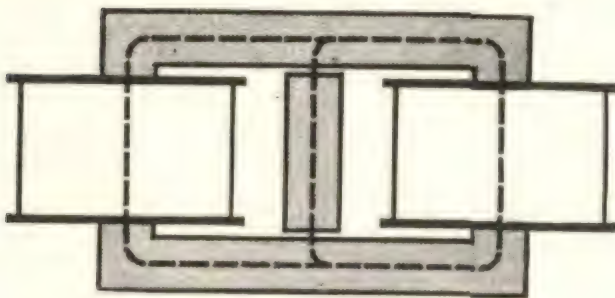




شكل (١٤٨) محول لأجهزة التحكم والوقاية  
محول بملف ابتدائي يوصل بالمنبع ، وملف ثانوي ينتج جهداً متوسطاً يصلح لأغراض التحكم والإشراف لأجهزة القطع والوصل ، وفي إضاءة المراجل البخارية من الداخل عند صيانتها أو إصلاحها . ويمتاز هذا المحول بأن جهده الثانوي لا يؤدي إلى أي خطورة من الصدمات الكهربائية على الإنسان .

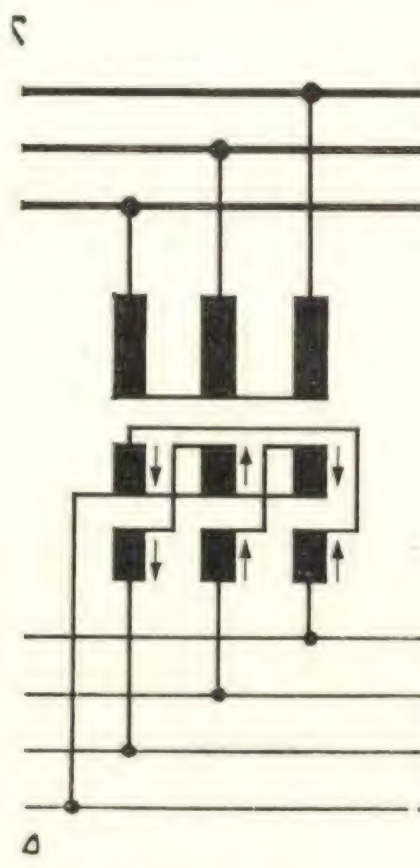
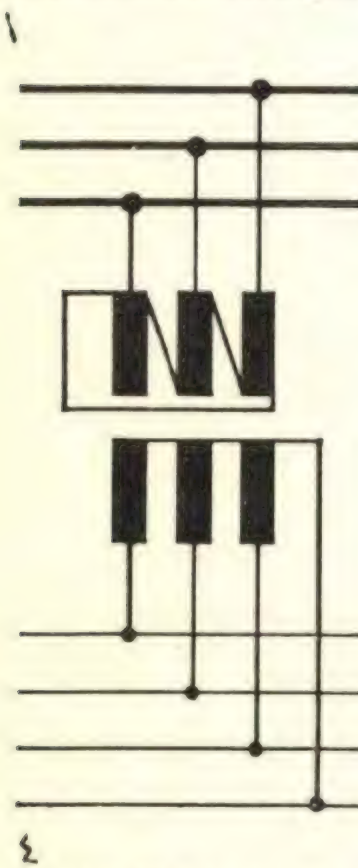
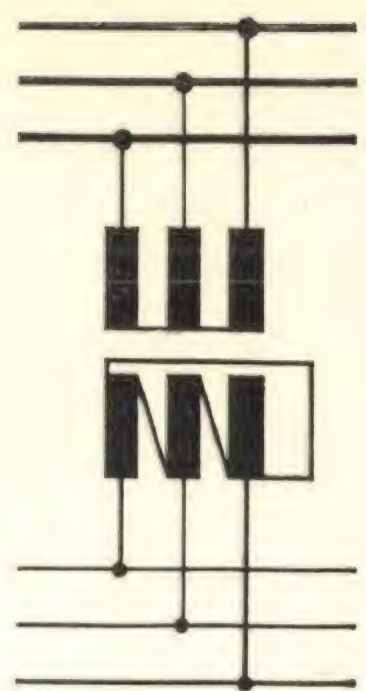
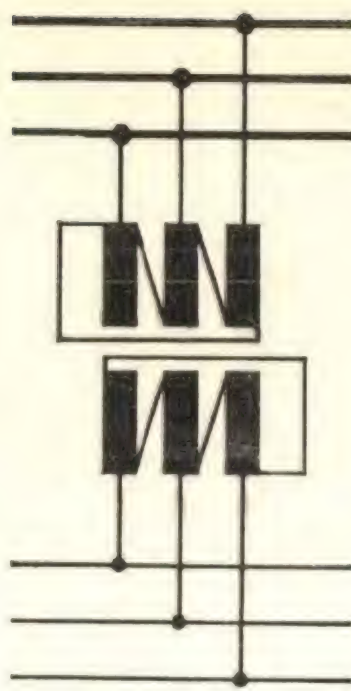
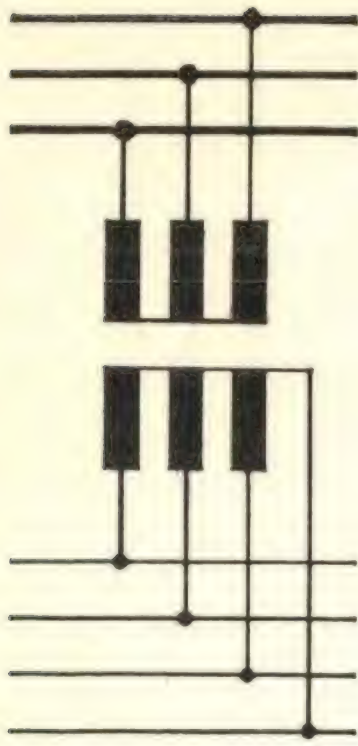
شكل (١٤٧) محول ذاتي محول يكون فيه الملف الثانوي عبارة عن جزء مشترك مع الملف الابتدائي . ولا يستخدم هذا المحول إلا في أجهزة القياس والمعامل كمجزئ للجهد ويعيب هذا النوع من المحولات أن وجود أي قصر دائرة أو خطأ أرضي فيه يؤدي إلى تسليط كل الجهد على الأرض .

الشكل (١٤٦) رسم تخطيطي لمحول جرس يستخدم في عمليات الإشارة ليعمل على ٣ أو ٥ أو ٧ فلت بتيار ٥، أمبير أو ٢ أمبير .



الشكل (١٥٠) محول تسرب (محول جهد عال) محول يستخدم في عمليات اللحام وفي تشغيل المصابيح الفلورسنتية ذات الجهد العالي ، ويمكن فيها تغيير اتدفق المغنطيسي لتغيير كثافة التيار المار في المصابيح ، ويتم ذلك بتغيير موضع المقرن بالنسبة للقلوب الحديدية القابلة للحركة .

الشكل (١٤٩) محول بملفات ثانوية متعددة محول يستخدم في أجهزة الراديو والتليفزيون . يصمم للعمل على التيار المتردد ، له ملف ابتدائي وحيد - وعدة ملفات ثانوية - يستخدم بعضها لتسخين الصمامات الإلكترونية وصمامات التقويم ، ويستخدم البعض الآخر في تغذية دوائر الأنود والشبكة .



- الشكل (١٥١) مجموعة من الرسومات تبين طرق توصيل ملفات المحولات الثلاثية الأطوار .
- ١ - توصيل الملفات الابتدائية والملفات الثانوية بتوصيلة النجمة .
  - ٢ - توصيل الملفات الابتدائية والملفات الثانوية بتوصيلة دلتا .
  - ٣ - توصيل الملفات الابتدائية بتوصيلة النجمة بينما توصيل الملفات الثانوية بتوصيلة دلتا .
  - ٤ - توصيل الملفات الابتدائية بتوصيلة دلتا بينما توصيل الملفات الثانوية بتوصيلة النجمة .
  - ٥ - توصيل الملفات الابتدائية بتوصيلة النجمة بينما توصيل الملفات الثانوية بالتوصيلة المتعرجة .



ومن أكثر الموصلات استخداما في المحولات توصيلة النجمة ، وتوصيلة الدلتا . ولإجراء عملية توصيل الملفات بطريقة سليمة تعلم النهايات بحروف لتمييزها ، وفي العادة تعلم نهايات الملفات الابتدائية بحروف كبيرة ، بينما تعلم نهايات الملفات اثنائية بحروف صغيرة .

(٤٤) تبريد المحولات ووسائل الوقاية المستخدمة فيها :

( أ ) تبريد المحولات :

تبرد المحولات عادة للتخلص من الحرارة الناتجة أثناء تشغيل المحول . وتزيد كمية الحرارة الناتجة في المحول كلما زاد الفقد في النحاس والفقد في الحديد . وتستخدم عادة نظم التبريد بالزيت لتبريد المحولات ذات القدرة العالية والمتوسطة ، ويتم ذلك بإحدى الطريقتين الآتيتين :

١ - طريقة التبريد المفتوحة :

توضع المحولات داخل خزان من الزيت ، وعندما ترتفع درجة حرارة المحول يتمدد الزيت ويندفع جزء منه إلى وعاء ملحق بخزان الزيت يسمى وعاء التمدد يسمح فيه بانتشار الزيت الزائد ليبرد .

٢ - طريقة التبريد المغلقة :

وهي طريقة أخرى للتبريد بالزيت ، وفيها تجري عملية التبريد باستخدام مضخات لسحب الزيت المحيط بالمحولات ، ودفعه داخل أنابيب تبرد من الخارج بالماء، ثم تقوم المضخات بعد ذلك بدفع الزيت إلى خزان المحول مرة ثانية بعد تبريده .

(ب) وسائل وقاية المحولات المبردة بالزيت :

تزود المحولات المبردة بالزيت بوسائل لوقايتها من التلف في الأحوال الآتية :

١ - زيادة درجة حرارة زيت المحول وسخونة أجزائه نتيجة لاستمرار الحمل الزائد .

٢ - وجود أخطاء كهربائية شديدة في المحولات ، مثل تيارات قصر الدائرة . ومن أهم

الوسائل لحماية المحولات « المرحل » ( المرحلة ) .

ويبين شكل (١٥٢) كيفية عمل مرحل لحماية المحول المبرد بالزيت .

كيفية عمل المرحل في حالة استمرار الحمل الزائد أو ازدياد حرارة الزيت :

يوضع الملامسان الأمان ( ٣ ، ١ ، ٣ ب ) في وعاء الزيت بطريقة معينة بحيث لا يقفلان

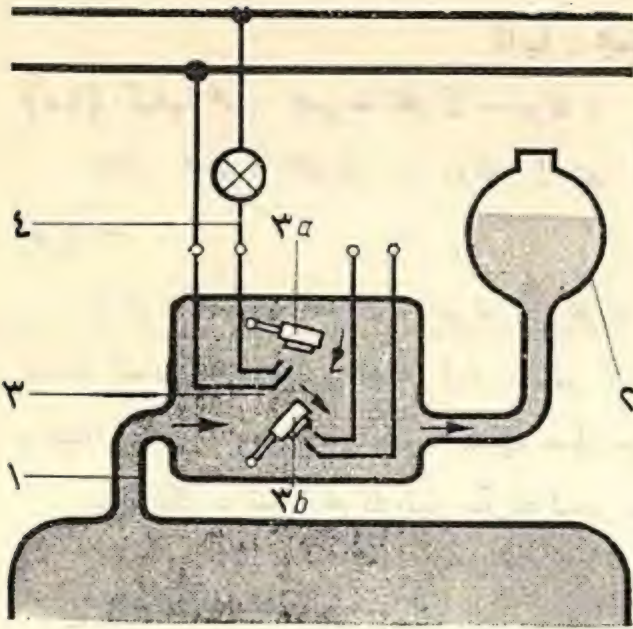
الدائرة الكهربائية التي يوجد بها مصباح الإنذار ( أو صفارة الإنذار ) طوال عمل نظام التبريد

بالزيت بطريقة عادية . أما في حالة التحميل الزائد المستمر ، فإن الزيت يسخن ويتحلل بالتدريج ،

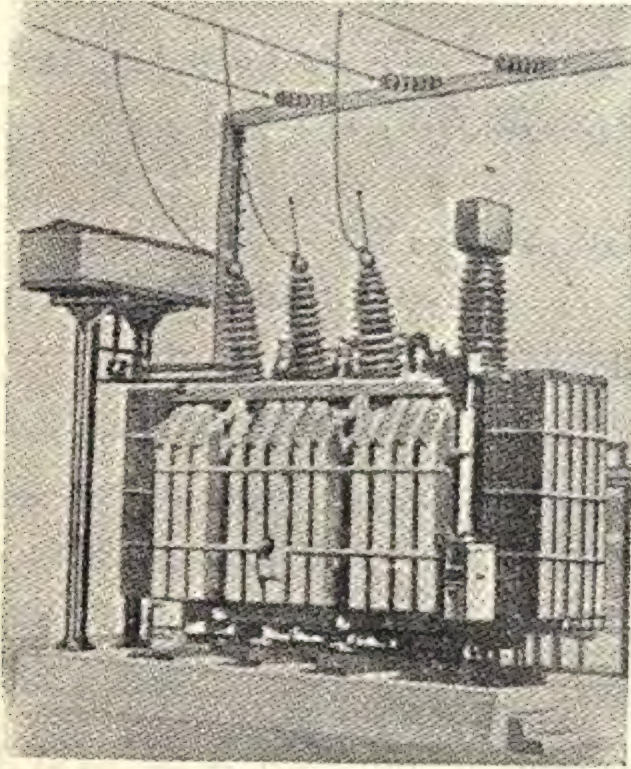
وتنتج عن ذلك فقاعات تتصاعد إلى الجزء العلوي من خزان الزيت ، وتضغط هذه الفقاعات على

اللامس العائم ( ١٣ ) فتدفعه إلى أسفل ، وبذلك تقفل دائرة مصباح الإنذار فيضي .





الشكل (١٥٢) أساس عمل  
وسيلة الحماية لمحول مبرد بالزيت .  
١ - أنبوبة تغذية .  
٢ - خزان تمدد بالزيت .  
٣ - غرفة زيت بعوائق توصيل  
( ٣ ، ١٣ ب )  
٤ - دائرة إضافية بمصباح بيان .



الشكل (١٥٣) محول بقدرة عالية .

كيفية عمل المرحل في حالة وجود قصر دائرة في المحول :

في حالة وجود تيار قصر دائرة في أى جزء ، أوفى أى توصيلة من توصيلات المحول مما يتسبب عنه تكون شرارة داخل المحول ، فإن هذه الشرارة تؤدي إلى تمدد الزيت فجأة فيندفع إلى وعاء التمدد ، وعندما يمتلئ الوعاء ، يضغط الزيت على الملامس العائم (٣ب) ويدفعه إلى أسفل . وينتج عن ذلك قفل الدائرة الكهربائية التي تقوم بفصل المحول أوتوماتيكيا عن دوائر أو نظم تغذية الجهد العالى . ويبين شكل (١٥٣) محول بقدرة عالية مزود بوسيلة من وسائل الحماية .



ثانيا : مجموعة المحرك - مولد

(٤٥) كيفية عمل مجموعة المحرك - مولد :

تعتبر مجموعة المحرك - مولد إحدى أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية من نوع معين إلى نوع آخر .

تتكون مجموعة المحرك - مولد من محرك كهربائي يغذي الطاقة الكهربائية عن طريق نظام التغذية العادي ( تيار متردد أو تيار مستمر ) . ويقوم المحرك بإدارة مولد مصمم ليعطي تيارا وجهدا بنفس المواصفات المطلوبة لتغذية حمل معين .  
مثال ذلك ، تغذية محرك بتيار متردد ليدير مولدا يعطي تيارا مستمرا .

أنواع مجموعة المحرك - مولد :

( أ ) النوع الأول : وفيه تتكون مجموعة المحرك - مولد من آلتين منفصلتين مرتبتي على قاعدة مشتركة ، ويقرن كل منهما بالآخر قرنا ميكانيكيا .

( ب ) النوع الثاني : وفيه ترتب مجموعة المحرك - مولد داخل غلاف مشترك ، ويركب العضو الدوار للمحرك والعضو الدوار للمولد على نفس عمود الإدارة المشترك ، انظر شكل (١٥٤) .

ثالثا : المغيرات الدوارة ( المحولات الدوارة )

(٤٦) كيفية عمل المغيرات الدوارة :

تقوم المغيرات الدوارة بنفس العمل الذي تقوم به مجموعة المحرك - مولد حيث تقوم بتغيير التيار المتردد إلى تيار مستمر أو العكس ، غير أن تصميم المغيرات الدوارة أيضا أبسط من تصميم مجموعة المحرك - مولد . ويتكون المغير الدوار من عمود إدارة واحد مركب عليه عضو الإنتاج . ويركب المبدل ( عضو التوحيد ) على أحد طرفي عمود الإدارة . ويركب على الطرف الآخر للعمود حلقات انزلاق . وتوصل إحدى نهايات ملفات عضو الإنتاج بملفات الانزلاق ، وتوصل النهايات الأخرى بالمبدل .

أنواع المغيرات الدوارة :

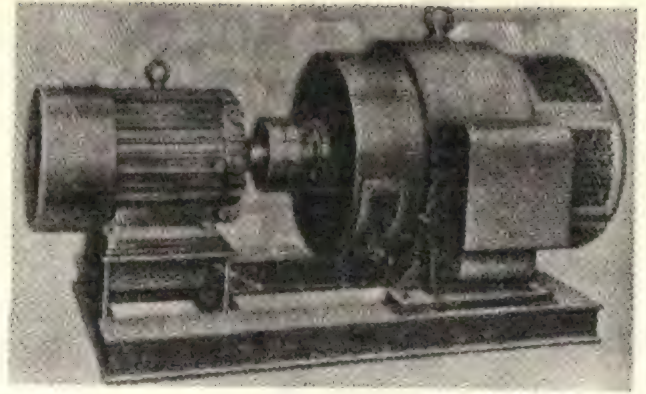
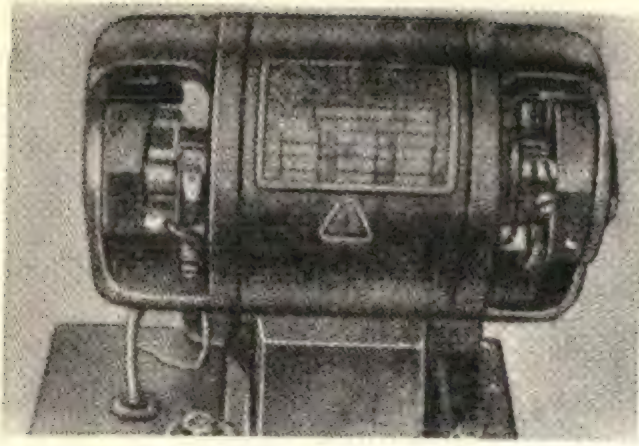
هناك نوعان من أنواع المغيرات الدوارة :

( أ ) مغيرات دوارة عضو إنتاجها له ملف واحد يستخدم للدخل والخرج معا .

ويوجد بهذا الملف نقط توصيل بينية يمكن بواسطتها تحديد جهد الدخل الملائم للجهد المنبع ، كما يمكن أيضا تحديد جهد الخرج الملائم للحمل .

( ب ) مغيرات دوارة لعضو إنتاجها ملفات ابتدائية ( للدخل ) وأخرى ثانوية ( للخرج ) منفصلة عن بعضها البعض كهربائيا .





الشكل (١٥٤) مجموعة محرك - مولد على قاعدة مشتركة .  
الشكل (١٥٥) مغير تيار بعضو دوار .

ومن عيوب هذه المغيرات الدوارة أنها لا تستخدم في تغذية الأحمال ذات القدرة العالية ، حيث أن ملفاتها الثانوية غير قادرة على تغذية هذه الأحمال الكبيرة بمجهود ثابتة . ويلزم في مثل هذه الأحوال توصيل الملفات الثانوية للمغيرات الدوارة بمحول توافقي ( أى يعمل على جعل الجهد ثابتا كلما أمكن ) ، ليقوم بتغذية الأحمال بالمجهود القياسية الثابتة المطلوبة . ويبين شكل (١٥٥) مغيرا دوارا من هذا النوع يستخدم في عمليات الإشارة والإنذار .

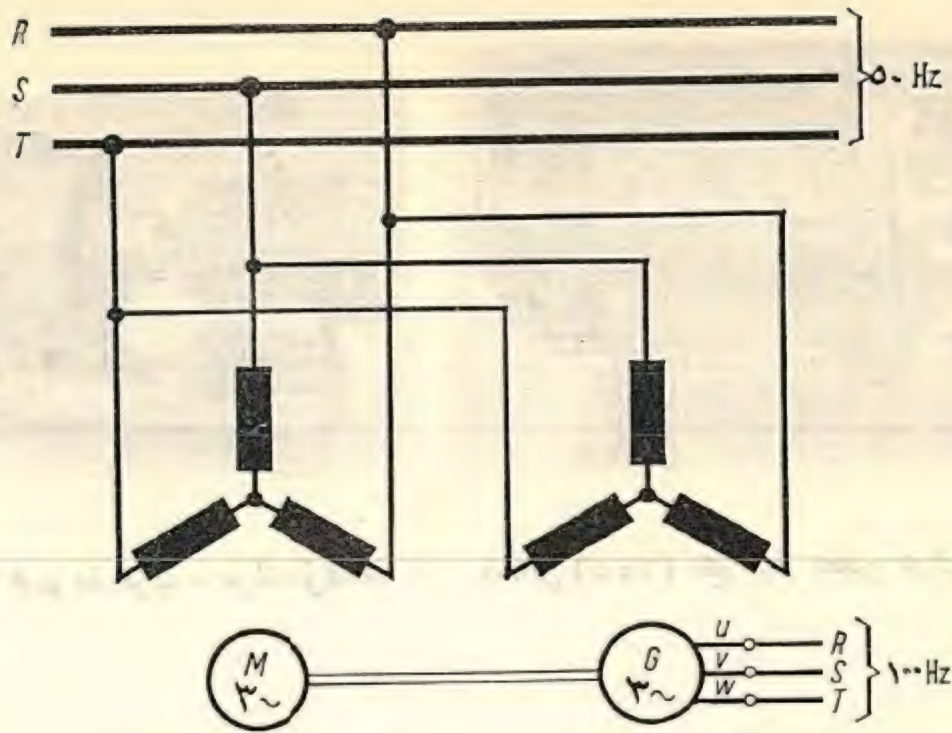
#### رابعا - مغيرات التردد

##### (٤٧) كيفية عمل مغيرات التردد :

تستخدم مغيرات التردد في توليد جهد له تردد يختلف عن تردد المنبع . فقد يكون تردد المنبع غير ملائم للإدارة بسرعة دوران عالية تتناسب مع طبيعة الحمل . فن المعروف أن سرعة دوران المحركات تتناسب تناسباً طردياً مع تردد الجهد الذى يغذيها ، كما أنها تتناسب تناسباً عكسياً مع عدد أزواج أقطابها . وعليه فإن أقصى سرعة دوران للمحركات الحثية لا يتعدى ٣٠٠٠ لفة / في الدقيقة ، وذلك في حالة تغذيتها بجهد له تردد ٥٠ ذبذبة في الثانية . ولما كان هناك الكثير من عمليات التشغيل التى تتطلب سرعة دوران عالية لا تقل عن ٤٠٠٠ أو ٥٠٠٠ لفة في الدقيقة مثل أعمال قطع الخشب وغيرها . لذلك تستخدم مغيرات التردد في تزويد مثل هذه المحركات بجهد له تردد يزيد على ٥٠ ذبذبة في الثانية حتى يمكن رفع الحد الأقصى لسرعة دوران المحركات إلى الحد المطلوب .

وتتركب مغيرات التردد عادة من مجموعة محرك حثي ثلاثي الأطوار ومولد حثي ثلاثي الأطوار أيضا . ويغذى المحرك والمولد بجهد له تردد ٥٠ ذبذبة في الثانية .





الشكل (١٥٦) أساس عمل مغير التردد .

ونتيجة لتغذية العضو الساكن للمولد بجهد له تردد ٥٠ ذبذبة فإنه يتولد أيضاً بعضوه الدوار جهد دوار بتردد ٥٠ ذبذبة في الثانية ( عندما يكون العضو الدوار ساكناً ) أما عندما يقوم المحرك بإدارة العضو الدوار للمولد بسرعة ٣٠٠٠ لفة في الدقيقة وفي اتجاه عكس اتجاه دوران المجال الدوار الناتج فيه بالحث ، فإننا نحصل من المولد على جهد له تردد مساو لمجموع الترددين . ويبين شكل (١٥٦) أساس عمل مغير التردد .

#### خامساً : المقومات

##### (٤٨) أنواع المقومات وطريقة عملها :

سبق أن ذكرنا أن المغيرات الدوارة تستخدم لتحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر ولكن القدرة الكهربائية المحولة بهذه الطريقة تكون صغيرة نسبياً . لذلك تستخدم المقومات لتحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر ولكن بقدرات كبيرة .

وتقسم المقومات إلى :

( أ ) مقومات ذات ملامسات ميكانيكية .

( ب ) مقومات معدنية أو مقومات شبه موصلة .

( ج ) مقومات بالتفريغ الغازي أو المقومات الصمامية .



#### (٤٩) المقومات ذات الملامسات الميكانيكية :

يستخدم هذا النوع من المقومات لتحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر ، والعكس . وتركيب هذه المقومات ( ذات الملامسات الميكانيكية ) في أبسط صورها من محرك له عمود إدارة لا مركزي بدور بسرعة ثابتة . يقوم هذا المحرك بفتح وقفل الملامسات الميكانيكية بطريقة معينة وبتوقيت مضبوط ، بحيث يسمح فقط للنصف الموجب من موجة التيار المتردد بالمرور في الدائرة عند قفل الملامسات ، في حين يمنع مرور النصف السالب . ولمنع حدوث أية شرارة أثناء عملية فتح الملامسات تستخدم عدة وسائل أهمها توصيل ملفات ذات ممانعة عالية على التوالي بهذه الملامسات ، كما يوصل على التوازي بهذه الملفات مكثفات ذات مقننات مناسبة ( لمنع الشرارة ) . وتجب العناية باختيار لحظة فتح وقفل الملامسات بحيث يتم ذلك عند اللحظة التي تكون فيها قيمة التيار صفراً حتى لا تحدث الشرارة . ويكثر استخدام المقومات ذات الملامسات الميكانيكية في عمليات التحليل الإلكتروني وعمليات المغنطة .

#### (٥٠) المقومات شبه الموصلة :

أمكن من زمن طويل معرفة الخاصية التي تتميز بها المواد شبه الموصلة ، وهي السماح للتيار الكهربائي بالمرور خلالها في اتجاه معين ، ومقاومتها الشديدة له عند مروره في الاتجاه المضاد . وقد استخدمت هذه المواد بكثرة في عملية تقويم التيار المتردد لتحويله إلى تيار مستمر . وازدادت أهمية هذه المواد وخاصة في مجال هندسة القوى الكهربائية ، بعد اكتشاف المقومات المعدنية شبه الموصلة المصنوعة من الجرمانيوم والسيليكون . ومازالت المقومات المعدنية المصنوعة من السيلينيوم ، والمقومات المعدنية المصنوعة من أكسيد النحاسوز ، مستعملة بكثرة في عملية تقويم التيار المتردد ، وتحويله إلى تيار مستمر . وتستخدم هذه المقومات عادة في تغذية أجهزة القياس ، ومعدات شحن المراكم ، وأجهزة الراديو ، والتليفزيون ، والتليفون ، وغيرها من الأجهزة المختلفة . وفيما يلي وصف موجز لطريقة عمل المقومات شبه الموصلة .

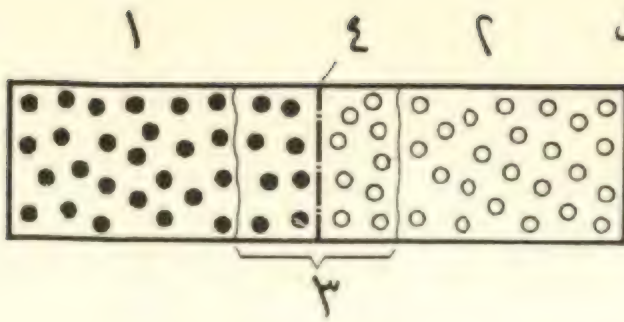
#### طريقة التوصيل في المقومات شبه الموصلة :

لشرح أساس عملية التقويم باستخدام المواد شبه الموصلة ، يمكن أن نأخذ مادة الجرمانيوم التي كثل لهذه المواد شبه الموصلة .

من المعروف أن مادة الجرمانيوم لها تكوين بلوري خاص رباعي التكافؤ ( به أربعة إلكترونات للربط ) وأن مقاومتها النوعية عند درجة الصفر المطلق ( - ٢٧٣°م ) عالية جداً ( لها قيمة لا نهائية ) . وتقل مقاومة الجرمانيوم كلما ارتفعت درجة حرارته ، حيث أن ارتفاع درجة الحرارة يزيد من قابليته للتوصيل الكهربائي نتيجة لما يسمى بالإثارة الحرارية الذاتية التي تدفع إلكترونات الجرمانيوم للحركة . وحركة الإلكترونات الجرمانيوم أقل بكثير من حركة الإلكترونات الحرة في المعادن .



الشكل (١٥٧) رسم تخطيطي يمثل مقوما شبه موصل



- ١ - بلورات من النوع N السالب التوصيل .
- ٢ - بلورات من النوع P الموجب التوصيل .
- ٣ - السطح الفاصل
- ٤ - الطبقة الفاصلة

فإذا حدثت إزاحة لأحد الإلكترونات في منطقة أو جزء صغير من المادة شبه الموصلة ، فإن الإلكترونات تقل في هذا الجزء ويصبح التركيب البلورى لهذه المادة في ذلك الجزء مكوناً من ثقب مكان الإلكترونات التي تركتها ، وتصبح هذه الثقوب شحنة موجبة . وحيث أن المادة لا يمكن أن تبقى على هذه الحال ، أى أنه لا بد أن تحدث عملية تعادل للشحنات ، لذلك نجد أن حركة الإلكترونات ( الشحنات السالبة ) في هذه المواد تأخذ اتجاهاً وحيداً منفصلاً ، في حين تتحرك الثقوب ( الشحنات الموجبة ) في الاتجاه المضاد لحركة الإلكترونات . وعلى ذلك تنقسم طبيعة التوصيل داخل المادة شبه الموصلة إلى نوعين : الأول ينتج من حركة الإلكترونات في الاتجاه المفضل ، ويطلق عليه التوصيل الإلكتروني أو التوصيل السالب . والثاني ينتج من حركة الثقوب في الاتجاه المضاد، ويطلق عليه التوصيل بالثقوب أو التوصيل الموجب . وهذان النوعان من التوصيل لا فائدة لهما من ناحية الاستخدام العملية ، لأن حدوثهما يتم داخل مادة الجرمانيوم . وحيث أنها متساويان في القيمة ومتضادان في الاتجاه ، فإن المادة تبدو وكأنها متعادلة من الناحية الكهربائية . وعلى ذلك فإن تغير المقاومة النوعية للمادة شبه الموصلة عند ارتفاع درجة حرارتها يرجع إلى هذين النوعين من التوصيل .

ومن الممكن تغيير ظاهرة تعادل الشحنتين السالبة والمرجبة في المادة شبه الموصلة بإضافة كمية صغيرة مضبوطة تماماً من مواد أخرى يطلق عليها اسم « شوائب » مثل الجاليوم والأنتيمون . فإذا أضيفت ذرة جاليوم ثلاثية التكافؤ بها ثلاث ذرات ترابط إلى الجرمانيوم الرباعي التكافؤ ، فإن هذا يؤدي إلى زيادة كثافة التوصيل الموجب في الجرمانيوم عن كثافة التوصيل السالب . وتعرف المادة شبه الموصلة في هذه الحالة بأنها مادة موجبة التوصيل من النوع ( ب ) ( P ) أما إذا أضيفت ذرة خماسية التكافؤ من مادة الأنتميون إلى الجرمانيوم مكان ذرة الجاليوم ، فإن ذرة الأنتميون تقوم بعملية « الدفع الإلكتروني » ، أو زيادة كثافة التوصيل السالب ، وبذلك ينقلب الجرمانيوم من حالة التوصيل الموجب « ب » ( P ) إلى حالة التوصيل السالب ، وتعرف المادة شبه الموصلة في هذه الحالة بأنها مادة سالبة التوصيل من النوع « ن » ( N ) .

وبين شكل (١٥٧) كيف تم عملية السماح للإلكترونات بالمرور وكيف تم عملية إيقافها . فإذا كان لدينا مادة شبه موصلة مثل الجرمانيوم لها تكوين بلورى رباعي التكافؤ وقسمت



إلى جزئين أضيف إلى أحد الجزئين ذرة جاليوم ثلاثية التكافؤ وأضيف إلى الجزء الآخر ذرة أنتيمون خماسية التكافؤ فإن عملية التوصيل داخل المادة شبه الموصلة تصبح كالآتي :

يقوم الجزء الذي يحتوى على ذرة الجاليوم بمنع مرور الإلكترونات في هذا الجزء لأنه أصبح موجب التوصيل من النوع « ب » نظراً لوجود ذرة ناقصة ( حيث أن بها ثلاث ذرات ترابط فقط ) ، بينما يقوم الجزء الآخر الذي يوجد به ذرة الأنتيمون بالسماح بمرور الإلكترونات في هذا الجزء ، لأنه سالب التوصيل من النوع « ن » لوجود ذرة زائدة ( حيث أن بها خمسة ذرات ترابط ) ، أما المنطقة الواقعة بين الجزء السالب التوصيل « ن » والجزء الموجب التوصيل « ب » فتستمر فيها عملية خروج الإلكترونات من الجزء « ن » إلى الجزء « ب » ، كما يتم فيها أيضاً خروج شحنات موجبة ( ثقب ) من الجزء الموجب « ب » إلى الجزء السالب « ن » حتى تتكون منطقة متعادلة الشحنة لا يوجد بها أى شحنات سالبة أو موجبة ، تسمى المنطقة الفاصلة ، وأما الخط الذي يفصل بين الجزئين « ب » ، « ن » فيسمى الخط الحاجز .

وعندما توضع مثل هذه المادة في دائرة تيار مستمر ، ويوصل القطب الموجب للتيار المستمر بالجزء الذي يوجد به بلورات من النوع « ن » ( السالب التوصيل ) فإن الإلكترونات الموجودة في هذا الجزء تمر فوراً إلى الجزء « ب » كما أن إلكترونات التيار المستمر تمر أيضاً بسهولة إلى الجزء « ب » حتى تملأ الثقوب ( أى حتى تتبادل الشحنة الموجبة الموجودة بالجزء « ب » وبذلك يستمر مرور التيار في هذا الاتجاه ) .

أما عند عكس عملية التوصيل بحيث يوصل القطب السالب بالجزء « ن » ( السالب التوصيل ) مكان القطب الموجب ، فإن مرور الإلكترونات يتوقف فوراً وتصبح المسادة غير موصلة .

وعلى ذلك إذا أدخل المقوم شبه الموصل في دائرة تيار متردد وتم توصيله بالكيفية السابقة فلا يمر التيار إلا في أحد نصفي الدورة . وبهذه الكيفية تتم عملية تقويم التيار المتردد وتحويله إلى تيار مستمر بواسطة المواد شبه الموصلة .

وفيما يلي مسح لبعض المميزات الخاصة بأنواع المقومات المعدنية والمقومات شبه الموصلة المستخدمة في عمليات تقويم التيار المتردد لتحويله إلى تيار مستمر .



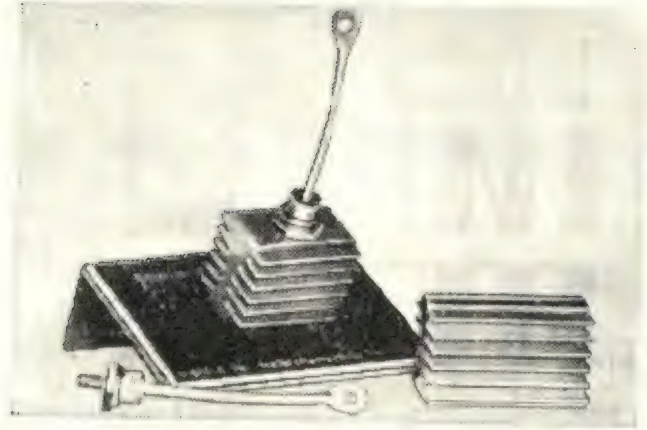
نوع المادة				المميزات
السيليكون	الجرمانيوم	السيلينيوم	أكسيد النحاسوز	أقصى كثافة للتيار ( بالأمبير / سم <sup>2</sup> ) المار في المادة شبه الموصلة بهوية ذاتية بهوية منفصلة جهد التغذية ( الجهد المعكوس ) أقصى حد لدرجة حرارة التشغيل ( م° ) كفاءة الخلية المساحة النسبية المطلوبة حتى يمكن أن تعطى نفس قدرة الخرج بالنسبة لمادة السيليكون
٨٠	٤٠	٠,٠٧	٠,٠٤	٠,٠٤
٢٠٠	١١٠	٠,٢	٠,١٤	٠,١٤
٣٨٠	١٠٠	٢٥	٦	٦
٥١٤٠	٥٦٥	٥٨٥	٥٥٠	٥٥٠
٩٩,٦	٩٨,٥	٩٢	٧٨	٧٨
١	٣	١٥	٣٠	٣٠

بالرجوع إلى هذا الجدول يتضح أن أهم بند يتعلق بهندسة القوى الكهربائية هو جهد التغذية ( الجهد المعكوس ) . حيث أن هذا الجهد يحدد عدد الخلايا شبه الموصلة التي يجب توصيلها ببعضها البعض ، لتلائم جهود التغذية المستخدمة في هندسة القوى الكهربائية ( ١١٠ ، ٢٢٠ ، ٣٨٠ فلت ) .

وبين المثال التالي أهمية جهد تغذية المقوم .

مثال : عند تقويم تيار متردد بجهد ٢٢٠ فلت يلزم توصيل ٩ خلايا من المقومات السيلينيوم على التوالي لهذا الغرض ، بينما يكتفى باستخدام خلية واحدة من خلايا السيليكون ذات الهوية المنفصلة . وتستخدم حالياً خلايا السيليكون المبينة في الشكل ( ١٥٨ ) في عملية التقويم المستخدمة في التحليل الكهربائي ، وفي أفران القوس الكهربائي ، وفي تغذية المحركات المستخدمة في الجر الكهربائي ، وفي عمليات الإثارة المستخدمة في المولدات المتزامنة . وكصدر لتغذية أجهزة التحكم والإشراف بالتيار المستمر .

ويطلق اسم « المقومات الثنائية » على مثل هذه المقومات التي سبق شرحها ، حيث أنها تقوم بنفس عملية التقويم التي تتم بواسطة الصمام الثنائي ، ويصنع حالياً الكثير من المقومات شبه الموصلة . وتجهز المقومات بدوائر الترشيع والتنعيم للحصول على تيار مستمر أملس ذي جهد ثابت باستخدام وسائل قياسية لضبط الجهد والتيار . ويتم صنع مثل هذه المقومات حالياً بطرق اقتصادية وسليمة .



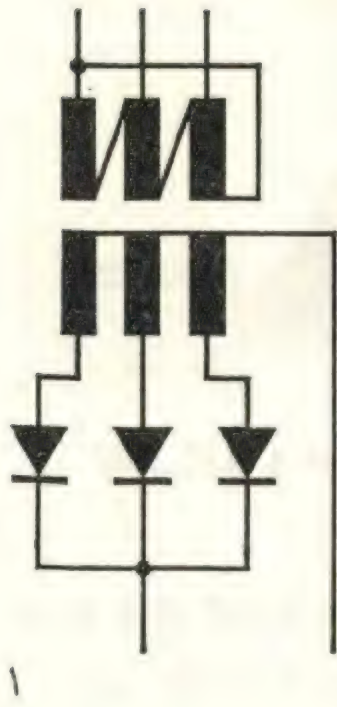
الشكل (١٥٨) مقوم سيليكوني

#### (٥١) دوائر التقويم ودوائر الترشيع :

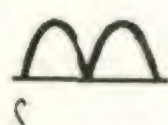
تبين الأشكال ( ١٥٩ - ١٦٢ ) دوائر التقويم التقليدية ، التي تستخدم فيها المقومات المعدنية . وهذه الدوائر شائعة الاستعمال في مجال هندسة القوي الكهربائية . ويمكن بواسطة هذه الدوائر الحصول على تيار مقوم تقويمياً نصف موجي ، أو تيار مقوم تقويمياً كاملاً ، في نظام وحيد الطور أو ثلاثي الأطوار . ومن المعروف أن التيار المقوم بواسطة المقومات المعدنية يعتبر تياراً نابضاً ذا شدة متغيرة ، ولذلك فهو لا يصلح للأغراض التي تستدعي ثبوت التيار ( كأجهزة الراديو مثلاً ) .

ولاستخلاص تيار مستمر سوى منم ، خال من التموجات ، يمرر التيار الناتج من المقوم في دائرة الترشيع . وتتكون دائرة الترشيع عادة من ملفات كابحة ومكثفات . وتعمل الملفات على إعاقة التغير في شدة التيار نتيجة لحثها الذاتي الكبير . أما المكثفات فتقوم بخزن الشحنة عند ارتفاع الجهد وتفريغها عند انخفاضه ، وبذلك نحصل على تيار سوى أملس . وسيأتي شرح ذلك في مجال هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية عند التعرض لعملية تغذية الأجهزة بالتيار المستمر .

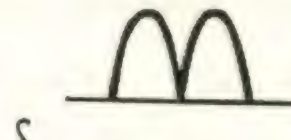
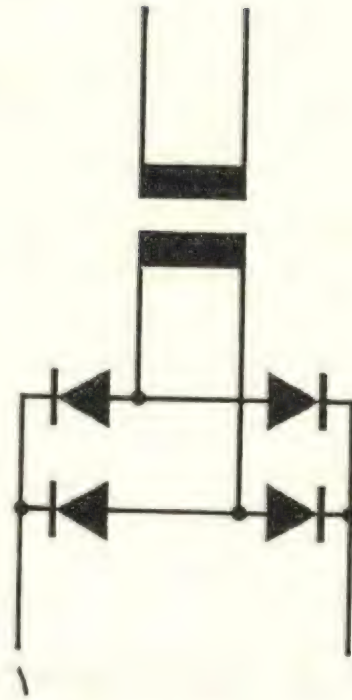




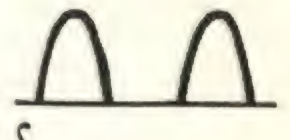
الشكل (١٦٢)  
دائرة ثلاثية الأطوار  
بسلك متعادل للحصول  
على تيار مستمر  
بنبضات قليلة  
١ - رسم تخطيطي  
للدائرة .  
٢ - نموذج للتيار  
المستمر الناتج بنبضات  
قليلة .



الشكل (١٦١)  
دائرة قنطرية وحيدة  
الطور .  
١ - رسم تخطيطي  
للدائرة .  
٢ - نموذج لنبضات  
التيار المستمر .



الشكل (١٦٠)  
دائرة وحيدة الطور  
بسلك متعادل لتقويم  
( لتوحيد ) الموجة  
الكاملة .  
١ - رسم تخطيطي  
للدائرة .  
٢ - نموذج لنبضات  
التيار المستمر الناتج .



الشكل (١٥٩)  
دائرة وحيدة الطور  
لتقويم نصف الموجة .  
١ - رسم تخطيطي  
للدائرة .  
٢ - نموذج لنبضات  
التيار المستمر الناتج .

## الباب السادس

### أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة ميكانيكية

تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية بواسطة المحركات أو المغنطيسات الرافعة .

#### المحركات الكهربائية

(٥٢) تصنيف المحركات :

يتم تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية عادة بواسطة آلات دوارة يطلق عليها اسم المحركات . تغذى هذه المحركات بالطاقة الكهربائية ، ونحصل على الطاقة الميكانيكية المطلوبة نتيجة لدوران العضو الدوار للمحرك . وقد استخدمت المحركات في بادئ الأمر بحيث يكون لكل آلة إنتاج محرك منفصل ، ثم أدخل العديد من التحسينات على أداء المحرك ، بحيث أصبح المحرك الواحد يقوم بإدارة أكثر من آلة إنتاج . وفي الوقت الحالى تستخدم عدة محركات لتقوم بإدارة أكثر من عمود تشغيل في ماكينة إنتاج واحدة ، ويطلق عليها اسم « الماكينات ذات الأعمدة المتعددة » .

وفي هذه الماكينة يمكن أن يقوم كل محرك بإنتاج جزء يختلف عن الجزء الذى ينتجه المحرك الآخر . ولاختيار نوع من أنواع المحركات الكهربائية المختلفة ليلامم حملاً معيناً له ظروف تشغيل خاصة ، يجب مراعاة الاعتبارات الآتية :

- ١ - نوع الجهد الذى يعمل عليه الحمل وقيمة هذا الجهد .
  - ٢ - نوع التيار وسدته ( تيار مستمر أو تيار متردد ) .
  - ٣ - نوع الحمل والقدرة اللازمة له ، والسرعة الملائمة لأدائه ونوع الخدمة المطلوبة .
- ويعتبر البند الثالث أكثر البنود أهمية عند اختيار المحرك المناسب للحمل . لذلك تقسم المحركات تبعاً للمتطلبات اللازمة توفرها في المحركات لتلائم الأحمال المختلفة تبعاً لما يلي :

- ( أ ) نوع الخدمة التى يمكن أن يعمل على أساسها المحرك .
- ( ب ) نوع الوقاية التى يجب توفرها بالمحرك ليلامم التشغيل مع الأحمال المختلفة .
- ( ج ) تصميم المحرك وطريقة تثبيته .
- ( د ) سرعة المحرك وطريقة تغير السرعة بتغير الحمل .



### (٥٣) تصنيف المحركات تبعاً لنوع الخدمة :

يعرف نوع الخدمة للمحرك بأنه الأداء الذي يجب أن يقوم به المحرك في زمن تشغيل معين ، ليناسب الحمل . على ألا تتعدى درجة حرارة المحرك في نهاية فترة التشغيل الحد الأقصى لدرجة الحرارة المسموح بها والتي إذا زادت عنه قد تؤدي إلى تلف المحرك . وتنقسم المحركات تبعاً لنوع الخدمة إلى :

#### ( أ ) محركات بخدمة مستمرة :

تعتبر المحركات بخدمة مستمرة أهم مجموعة المحركات على الإطلاق . وتصمم هذه المحركات بحيث لا يتعدى الحد الأقصى لارتفاع درجة حرارة المحرك إذا استمر تشغيله بصفة مستمرة الحد المسموح به ، والذي قد يؤدي إلى تلفه . ولا يعيب هذه المحركات سوى ارتفاع ثمن تصنيعها . ويبين شكل (١٦٣) طريقة أداء أحد هذه المحركات .

#### ( ب ) محركات بخدمة لفترة قصيرة :

تصمم هذه المحركات بحيث لا يتعدى الحد الأقصى لارتفاع درجة الحرارة فيها عن قيمة معينة عند تشغيلها لفترة زمنية محددة . ويراعى في هذه الحالة أن يكون طول الفترة الزمنية التي تلي عملية التشغيل ، والتي يبقى فيها المحرك ساكناً بدون عمل ، كافياً لتبريد المحرك أو الآلة بحيث تعود درجة حرارتها إلى درجة حرارة الحجرة ( باستخدام وسط مبرد أو بدونه ) . ويبين شكل (١٦٤) طريقة أداء أحد هذه المحركات .

#### ( ج ) محركات تعمل بصفة مستمرة غير أن تحميلها لا يستغرق إلا فترات قصيرة فقط :

هذه المحركات يتم تحميلها لفترات قصيرة كما في النوع السابق ، إلا أنها تختلف عن محركات الخدمة لفترة قصيرة ، من حيث أن هذه المحركات تستمر في الدوران بدون حمل خلال فترات عدم التحميل .

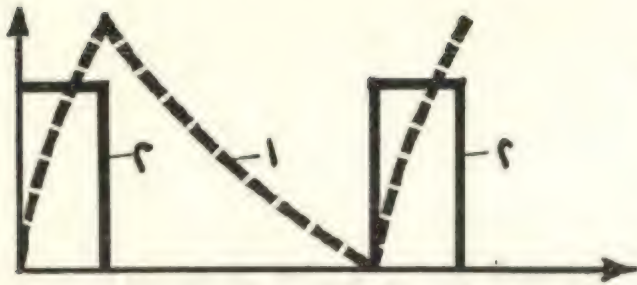
و يبين شكل (١٦٥) طريقة أداء أحد هذه المحركات .

#### ( د ) محركات بخدمة متقطعة :

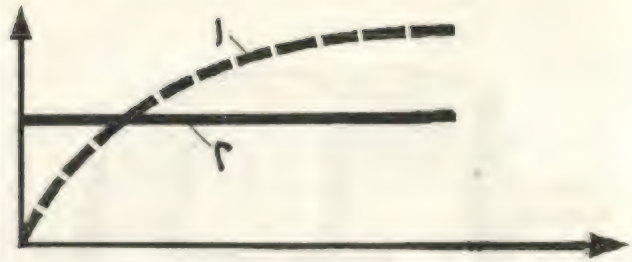
يتم تحميل هذه المحركات بنفس الكيفية التي تحمل بها محركات الخدمة لفترة قصيرة ، غير أنه في هذه الحالة يكون طول الفترة الزمنية التي تلي فترة التشغيل ، والتي تبقى فيها المحركات ساكنة بدون عمل ، غير كاف لإعطاء المحركات فرصة لكي تبرد وتعود درجة حرارتها إلى درجة حرارة الحجرة . وينطبق على هذه المحركات نفس مميزات وخواص المحركات التي تعمل بصفة مستمرة ، إلا أن تحميلها لا يستغرق إلا فترات قصيرة فقط .

و يبين الشكل (١٦٦) طريقة أداء أحد هذه المحركات .

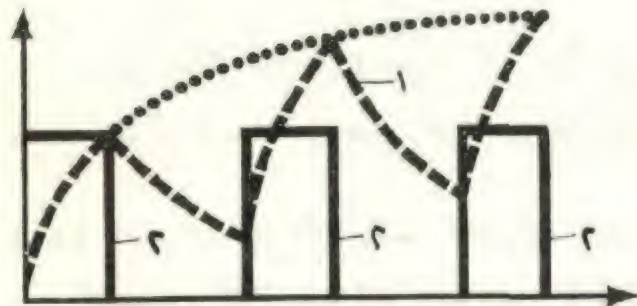




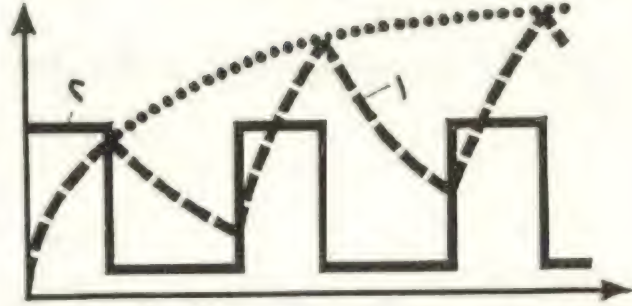
الشكل (١٦٤) تشغيل بحمل بفترة قصيرة  
١ - حدود ارتفاع درجة الحرارة .  
٢ - طريقة التحميل .



الشكل (١٦٣) تشغيل بحمل مستمر  
١ - حدود ارتفاع درجة الحرارة .  
٢ - تحميل مستمر .



الشكل (١٦٦) تشغيل بتحميل بطريقة متقطعة  
١ - حدود درجة الحرارة .  
٢ - طريقة التحميل .



الشكل (١٦٥) تشغيل مستمر مع تحميل لفترة قصيرة  
١ - حدود درجة الحرارة .  
٢ - طريقة التحميل .

#### (٥٤) تصنيف المحركات تبعاً لدرجة الوقاية المتوفرة فيها :

تصنف المحركات تبعاً لنوع الوقاية المتوفرة فيها كالآتي :

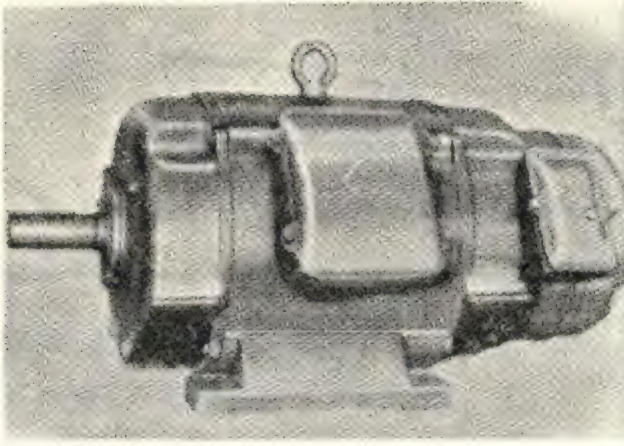
- ١ - محركات مزودة بوسائل لوقاية الأفراد من الصدمات الكهربائية .
- ٢ - محركات مزودة بوسائل للوقاية من دخول الماء والرطوبة إليها .
- ٣ - محركات مزودة بوسائل للوقاية من دخول الأتربة والمواد الغريبة إليها .

ولكل نوع من أنواع الوقاية رمز أو علامة تدل عليه ، وتوضح هذه العلامة على المحرك من الخارج .

ويبين الجدول التالي المميزات التي تتمتع بها المحركات تبعاً لدرجة الحماية المتوفرة فيها .

الوقاية من المواد الغريبة	الوقاية من الصدمات الكهربائية	الوقاية من الماء والرطوبة
تتم وقاية المحرك الذي يحمل هذا الرمز من دخول الجسيمات التي يصل قطرها حتى ٥٠ مم إلى المحرك . أو دخول الجسيمات التي يصل قطرها ٨ مم أو الغبار الخشن أو أي أتربة الأخرى .	يتم وقاية المحرك الذي يحمل هذا الرمز بحيث لا يسمح بلمس أي مساحة كبيرة منه بالأصبع أو بالأدوات أو ما شابه ذلك أو بأي وسيلة أخرى من وسائل اللمس .	يتم وقاية المحرك الذي يحمل هذا الرمز من الماء المتناثر (الطرشة) . ومن الماء المندفِع ، ومن ماء الرش ، ومن الماء المضغوط ( النافوري ) ومن الماء عموماً



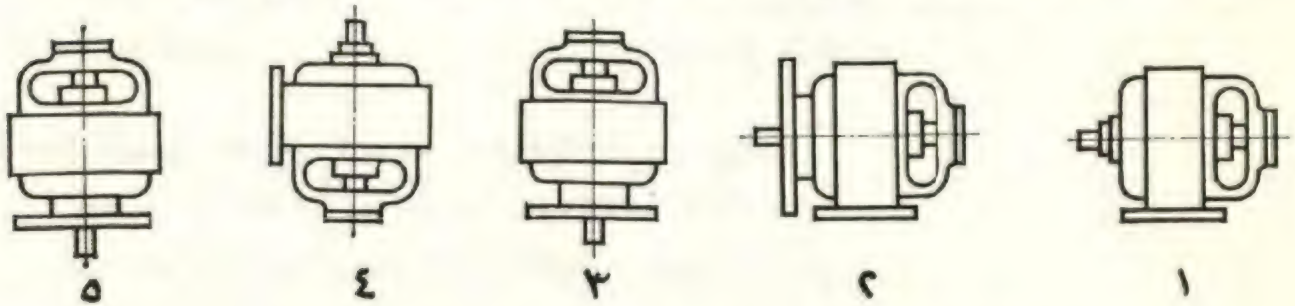


الشكل (١٦٧) محرك موفى من المواد الغريبة  
أو الجسيمات المتوسطة الحجم ، ومن وصول  
الأصابع إلى داخله

ويبين شكل (١٦٧) محركاً كهربائياً عليه علامة مرققة على غطاء النهايات تدل على درجة  
ونوع العزل المستخدم فى صنع المحرك ودرجة الوقاية المتوفرة فيه .

#### (٥٥) تصنيف المحركات تبعاً لتصميمها وطرق تثبيتها :

تقسم المحركات عادة تبعاً لتصميمها وطرق تثبيتها لتناسب نوع الحمل . ويبين الجدول التالى  
الطرق المختلفة لكيفية تركيب وتثبيت أكثر أنواع المحركات شيوعاً والرقم المميز لكل منها .



الشكل (١٦٨) الجدول المرفق يبين خصائص كل نوع من هذه المحركات

#### (٥٦) تصنيف المحركات تبعاً لتغير سرعتها بتغير الحمل :

تقسم المحركات تبعاً لتغير سرعتها نتيجة لزيادة أو نقص الحمل إلى :

- ١ - محركات ذات سرعة دوران ثابتة لا تتغير سرعتها بتغير الحمل .
- ٢ - محركات ذات سرعة دوران تتغير تبعاً لزيادة أو نقص الحمل ، ويطلق عليها «محركات  
بسرعة محكومة بالحمل» .

#### أولاً - المحركات ذات السرعة الثابتة :

يوجد الكثير من محركات التيار المتردد ومحركات التيار المستمر ذات السرعة الثابتة التى  
لا تتغير بتغير الحمل . وقبل أن نتعرض لمحركات التيار المتردد بسرعة ثابتة ، يجب أولاً أن نعرف  
ما تعنيه سرعة المجال الدوار للتيار المتردد .



أنواع المحركات						التصميم
٥	٤	٣	٢	١		تصميم كراسي التحميل
يحمل المفسر الدوار على كرتين من كراسي التحميل . الإطار بدون أرجل تثبيت . عمود الإدارة حصر الحركة من النهاية السفلى . للمحرك ألواح وصل ملاصقة للكراسي التحميل بحيث يمكن وصل المحرك بأي محرك جاذبي . يمكن تثبيته بالخط عن طريق أرجل التثبيت .	يحمل المفسر الدوار على كرتين من كراسي التحميل . الإطار بدون أرجل تثبيت . عمود الإدارة حصر الحركة من النهاية العليا . للمحرك ألواح وصل ملاصقة للكراسي التحميل بحيث يمكن وصل المحرك بأي محرك جاذبي . يمكن تثبيته بواسطة ألواح ربط علوية .	يحمل المفسر الدوار على كرتين من كراسي التحميل . الإطار بدون أرجل تثبيت . عمود الإدارة حصر الحركة من النهاية السفلى . للمحرك ألواح وصل ملاصقة للكراسي التحميل بحيث يمكن وصل المحرك بأي محرك جاذبي . يمكن تثبيت المحرك على ألواح ربط سفلية .	يحمل المفسر الدوار على كرتين من كراسي التحميل . يوجد للإطار أرجل تثبيت . عمود الإدارة حصر الحركة من الطرفين . للمحرك ألواح وصل ملاصقة للكراسي التحميل بحيث يمكن وصل المحرك بأي محرك جاذبي . يثبت على حوامل لا مكان تركيبها على ألواح ربط .	يحمل المفسر الدوار على كرتين من كراسي التحميل . يوجد للإطار أرجل تثبيت . عمود الإدارة حصر الحركة من الطرفين . يمكن تركيب المحرك بواسطة أرجل التثبيت .	يحمل المفسر الدوار على كرتين من كراسي التحميل . يوجد للإطار أرجل تثبيت . عمود الإدارة حصر الحركة من الطرفين . يمكن تركيب المحرك بواسطة أرجل التثبيت .	تصميم كراسي التحميل تصميم الاطوار والفلوف تصميم عمود الإدارة التصميم المسام كيفية تثبيت المحرك

ويوضح من شكل (١٦٨) أن توحيد الطرق المختلفة المتبعة في تركيب المحركات يؤدي إلى تسهيل التبادلية واستخدام محرك من نوع معين مكان محرك من نوع آخر .



سرعة المجال الدوار وكيفية تولد عزم الدوران في محركات التيار المتردد :  
يمكن حساب سرعة المجال الدوار لأي محرك ، بمعرفة تردد جهد المنبع ، وعدد أزواج الأقطاب  
في المحرك أو المولد ، من المعادلة الآتية :

$$n = \frac{60 \times f}{p}$$

حيث f تردد المنبع ،  
p عدد أزواج الأقطاب ،  
n عدد دورات الآلة في الدقيقة .

ويتم توليد عزم الدوران للمحرك عند توصيل العضو الساكن بالمنبع ، حيث يتولد بالحث  
في العضو الدوار جهد له قيمة معينة يؤدي إلى وجود مجال مغنطيسي بالعضو الدوار .  
ويتولد عزم الدوران المطلوب نتيجة لتفاعل المجال المغنطيسي الموجود في العضو الساكن  
مع المجال المغنطيسي المتولد بالحث في العضو الدوار . وكلما زادت سرعة العضو الدوار ، يقل الجهد  
المتولد بالحث فيه ، حتى يصل هذا الجهد إلى الصفر ، ولا تحدث هذه الحالة الأخيرة إلا إذا دار  
بسرعة مساوية تماماً لسرعة المجال الدوار في العضو الساكن . وتسمى سرعة المحرك في هذه الحالة الأخيرة  
السرعة المتزامنة . غير أن سرعة العضو الدوار لا يمكن أن تصل إلى هذه السرعة في المحركات  
اللاتزامنية ، نتيجة لوجود قوى الاحتكاك في كراسي التحميل . ويجب التنويه هنا بأن قيمة النقص  
في سرعة دوران العضو ، الدوار عن سرعة المجال ، منسوبة إلى سرعة المجال ، تسمى « الانزلاق » .  
وتتراوح قيمة الانزلاق بين ٢٪ ، ٦٪ من سرعة المجال الدوار . ويقال في هذه الحالة أن العضو  
الدوار يدور بسرعة لاتزامنية .

وفيما يلي جدول يبين سرعة العضو الدوار لبعض الآلات اللاتزامنية ، بالمقارنة بسرعة المجال ،  
عندما يكون عدد أزواج الأقطاب ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ :

عدد أزواج الأقطاب	١	٢	٣	٤
سرعة المجال ( لفة في الدقيقة )	٣٠٠٠	١٥٠٠	١٠٠٠	٧٥٠
السرعة المقننة للعضو الدوار ( لفة في الدقيقة )	٢٨٧٥	١٤٢٥	٩٢٥	٧٢٠

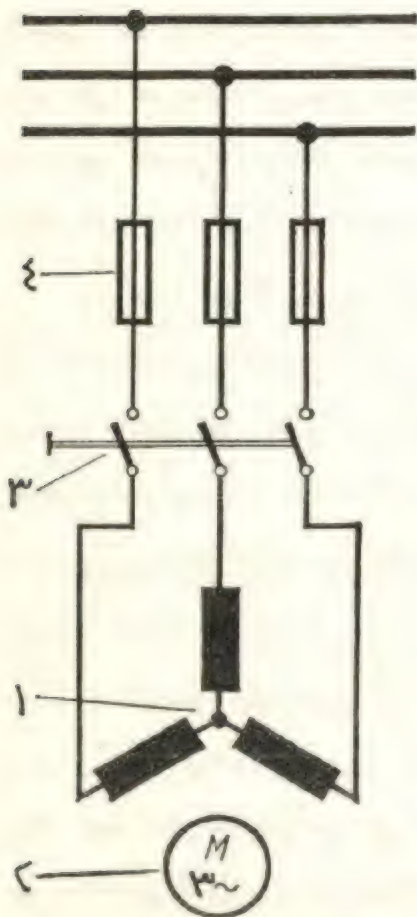
وفيما يلي شرح مبسط لأهم أنواع المحركات ذات السرعة الثابتة .

(٥٧) محركات ثلاثية الأطوار بعضو دوار على هيئة قفص سنجابي :

الشكل (١٦٩) لمحرك ثلاثي الأطوار حثي بعضو دوار على هيئة قفص سنجابي . هذا النوع من  
المحركات يعتبر أكثر أنواع المحركات استخداماً في إدارة آلات الإنتاج . وتتميز هذه المحركات بتصميم



يفوق ما عداها من المحركات من حيث التحميل ، كما أنها لا تحتاج إلا لأقل مجهود لصيانتها ، هذا بالإضافة إلى أن تكاليف تصنيعها اقتصادية للغاية . ويتكون العضو الساكن من شرائح من الحديد السليكوني توضع بها الملفات بطريقة معينة ، بحيث يتولد بالعضو الساكن مجال دوار بمجرد توصيل الملفات بمنبع تيار متردد . ويتكون العضو الدوار من عمود إدارة ، عليه شرائح من الصلب السليكوني ، مجموعة مع بعضها البعض بأشكال مختلفة ، بها مجار توضع بداخلها قضبان موصلة ( من الألمنيوم أو النحاس ) . وتوصل نهايات القضبان ببعضها البعض بواسطة حلقتين موصلتين لتقشير دائرة هذه القضبان كما هو مبين بالشكل (١٧٠) . وينتج عزم الدوران من تفاعل المجال المغنطيسي الدوار في العضو الساكن مع المجال المغنطيسي المتولد بالحث في قضبان العضو الدوار . ويتم اختيار مقطع هذه القضبان الموصلة بحيث يبقى تيار بدء التشغيل أقل ما يمكن ، مع المحافظة على بقاء عزم الدوران ثابتاً عند التحميل . وتتميز هذه المحركات بعزم بدء تشغيل عال ، وبسرعة دوران ثابتة ، تعتمد على سرعة المجال الدوار . غير أنه يعيب هذه المحركات زيادة شدة تيار بدء التشغيل حتى إنه يصل في بعض الأحيان إلى خمسة أو ستة أضعاف التيار المقنن . وقد تؤدي زيادة شدة تيار بدء التشغيل إلى تلف الملفات أو حرقها . ولذلك يفضل تقليل تيار بدء التشغيل ، كلما أمكن ذلك . وفيما يلي موجز لكيفية توصيل هذه المحركات بالمنبع عند بدء تشغيلها لتقليل تيار بدء التشغيل .



الشكل (١٦٩) دائرة توصيل محرك ثلاثي الأطوار

لا متزامن بعضو دوار على هيئة قفص سنجاب .

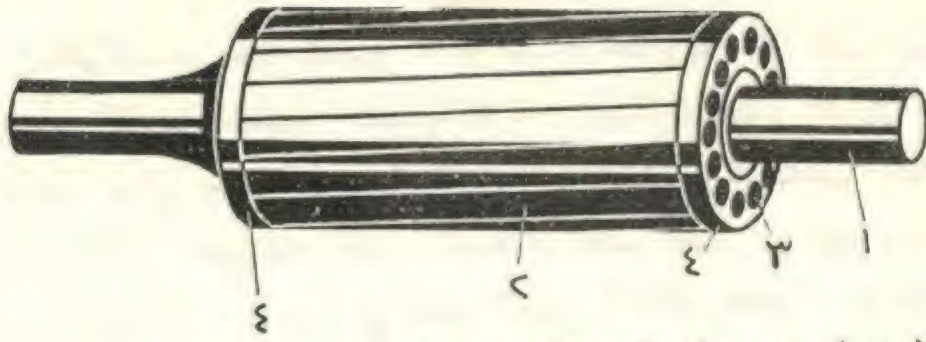
١ - ملفات العضو الساكن .

٢ - العضو الدوار .

٣ - مفتاح تحكم ثلاثي الأقطاب .

٤ - مصاهر .





الشكل (١٧٠) عضو دوار على هيئة قفص سنجاب

- ١ - عمود الإدارة  
٢ - الشرائح الحديدية .  
٣ - القضبان الموصلة .  
٤ - حلقات لتقصير دائرة القضبان الموصلة .

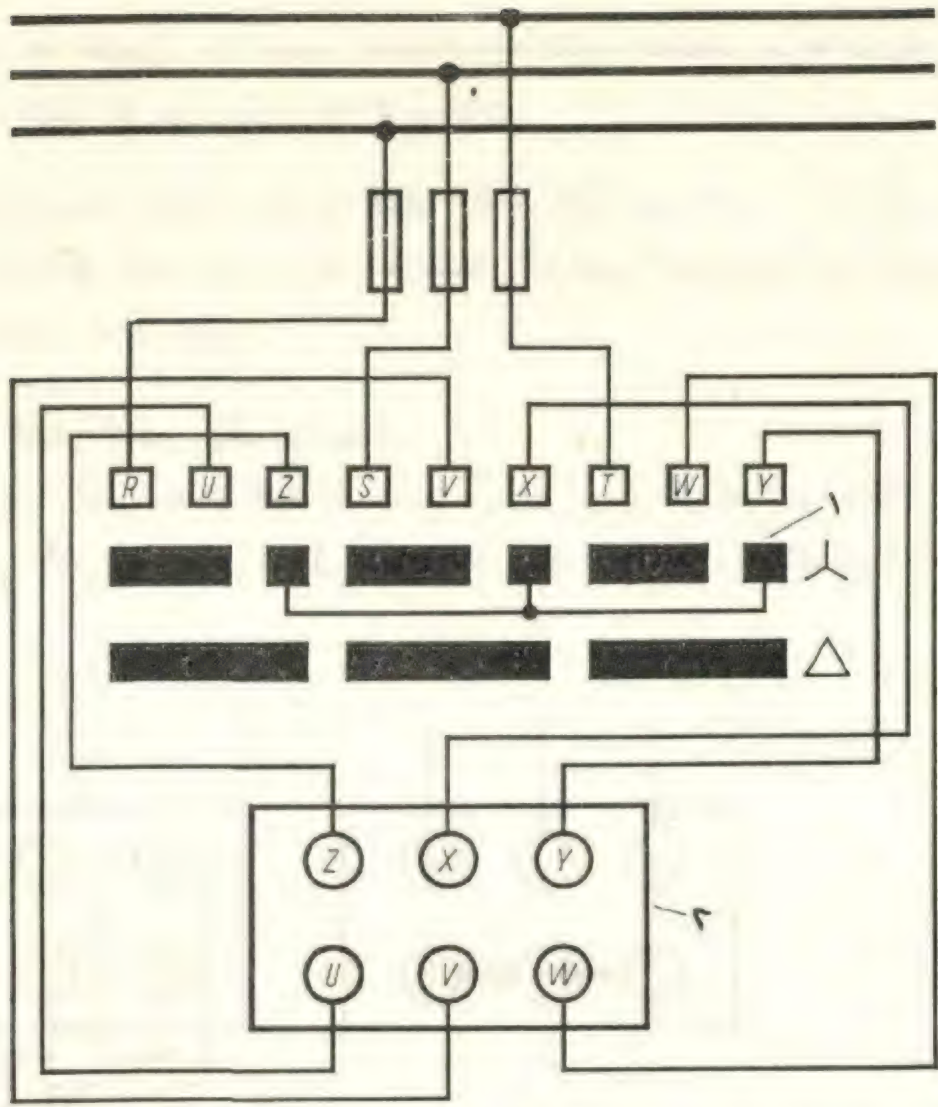
طرق توصيل المحركات الثلاثية الأطوار ذات القفص السنجابي بالمنبع عند بدء التشغيل :  
المحركات التي لا تتعدى قدرتها المقننة ٣ كيلووات ، توصل مباشرة بالمنبع ، حيث أن تيار بدء التشغيل لهذه المحركات لا يتعدى ٤٨ أمبير إذا كان جهد المنبع ٣٨٠ فلت .

أما في المحركات التي تتعدى قدرتها ٣ كيلووات ، فيفضل استخدام وسيلة مناسبة لتخفيض تيار بدء التشغيل عند توصيلها بالمنبع ، كوسيلة النجمة - دلتا مثلاً . ويلاحظ في هذه الحالة أن استخدام مثل هذه الوسائل يؤدي بالتالى إلى خفض عزم الدوران . ولتوصيل وسيلة بدء التشغيل ، النجمة - دلتا بهذه المحركات ، يجب أن ترتب ملفات هذه المحركات بحيث يمكن توصيلها بطريقة التوصيل النجمي عند بدء التشغيل ، وعندما تصل سرعة المحرك إلى السرعة المقننة يلغى التوصيل النجمي وتوصل بطريقة « توصيل دلتا » ويكتب على مثل هذه المحركات مقننان للجهد ، المقنن الأول للتوصيل النجمي ، والمقنن الثانى للتوصيل دلتا . فالمحرك ٣٨٠ فلت يكتب عليه ٣٨٠/٦٦٠ فلت ، والمحرك ٢٢٠ فلت يكتب عليه ٢٢٠/٣٨٠ فلت .

ويوصل المحرك بالمنبع عند بدء التشغيل بالتوصيل النجمي ، لأن مقاومة العضو الساكن في حالة التوصيل النجمي أكبر منها في حالة التوصيل دلتا . وهذا يقلل من تيار بدء التشغيل ، ويؤدي بالتالى إلى خفض عزم الدوران . ولذلك يفضل تحويل التوصيل النجمي إلى توصيل دلتا بمجرد وصول سرعة دوران المحرك إلى السرعة المقننة .

ويبين شكل (١٧١) رسماً تخطيطياً لدائرة التوصيل النجمة - دلتا لأحد المحركات . وبالرجوع إلى هذا الشكل نجد أن طريقة ترتيب الملفات للمحرك ، وكيفية ترقيم لوحة النهايات تتم بطريقة معينة ، لتسهيل عملية تغيير توصيل هذه الملفات من التوصيل النجمي إلى توصيل دلتا ، كما هو مبين في شكل (١٧٢) . وفي حالة تعذر استخدام هذه الطريقة لبدء تشغيل بعض المحركات تستخدم بدلاً منها مقاومات توضع على التوالى مع ملفات المحرك عند بدء التشغيل ، ويتم فصلها عندما تصل سرعة العضو الدوار إلى السرعة المقننة .





الشكل (١٧١) أساس عمل مفتاح التوصيل النجمة - دلتا  
١ - ملامسات بشكل قناطر  
٢ - علبة توصيل نهايات المحرك

ويلاحظ في هذه الحالة عدم تحميل المحركات عند بدء تشغيلها لانخفاض عزم الدوران . ويعيب هذه الطريقة الأخيرة زيادة الفقد على هيئة حرارة مبددة في هذه المقاومات . وتمتاز المحركات على هيئة قفص سنجابي بثبات سرعة دورانها ، ويمكن تغيير سرعتها فقط بتغيير تردد المنبع ، أو بتغيير عدد الأقطاب . أما تغيير اتجاه الدوران فيتم بتغيير تنابع توصيل الأطوار المختلفة بأطراف المحرك .

#### (٥٨) محركات تيار مستمر بلف على التوازي :

في هذه المحركات توصيل ملفات المجال على التوازي بملفات عضو الإنتاج كما هو مبين بالشكل (١٧٢) . وتستخدم هذه المحركات في إدارة آلات الإنتاج التي تحتاج لسرعة دوران ثابتة . وتوصيل المحركات بالمنبع بوضع ريوستات ( مقاومة متغيرة ) ( ٣ ) على التوالي بملفات عضو الإنتاج

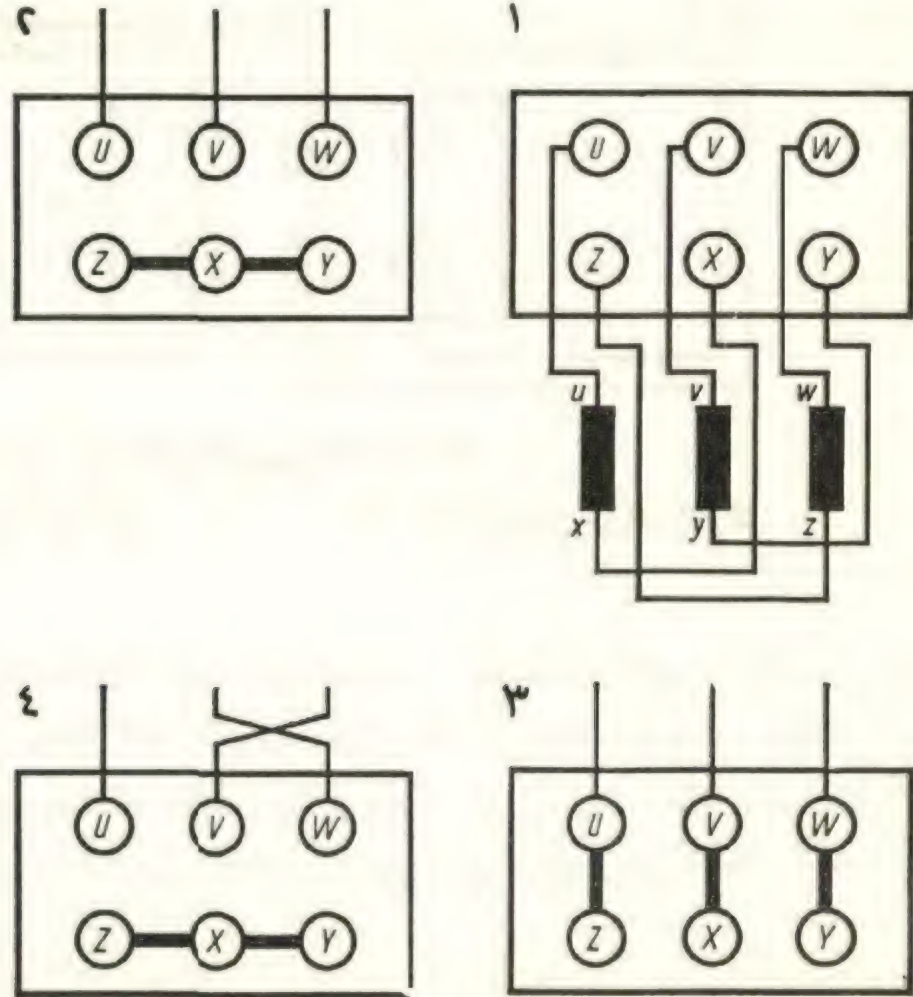


لتخفيض شدة تيار بدء التشغيل . ولا ينصح باستخدام هذه المقاومة لتخفيض سرعة دوران المحرك وذلك لزيادة القدرة المبذودة على هيئة حرارة في هذا الريوستات .

ولتغيير سرعة دوران المحرك يوصل على التوالي بملفات المجال ريوستات ( ٤ ) يمكن بواسطته التحكم في سرعة المحرك في حدود ٢٥٪ من السرعة المقننة . أما تغيير اتجاه دوران المحرك فيتم بتغيير طريقة توصيل نهايات المحرك بالمنبع .

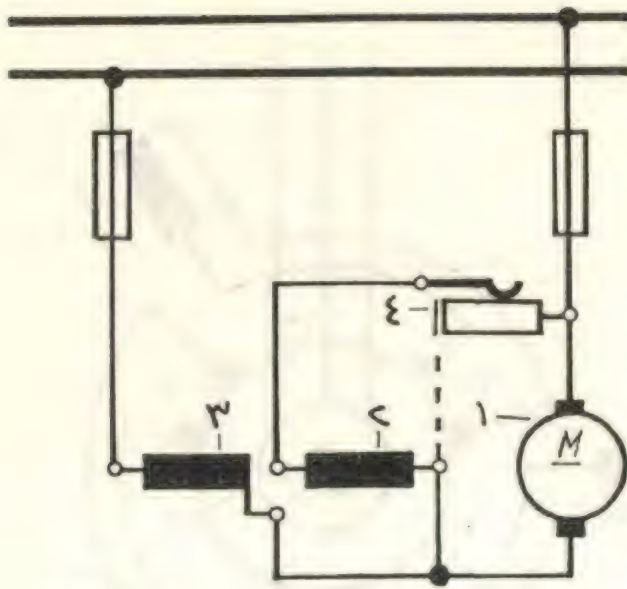
#### (٥٩) محركات التيار المستمر بلف مركب :

في هذه المحركات تقسم ملفات المجال إلى قسمين أحدهما يوصل على التوازي بملفات العضو الدوار ، أما القسم الآخر فيوصل على التوالي بملفات العضو الدوار كما هو مبين بالشكل ( ١٧٤ ) .

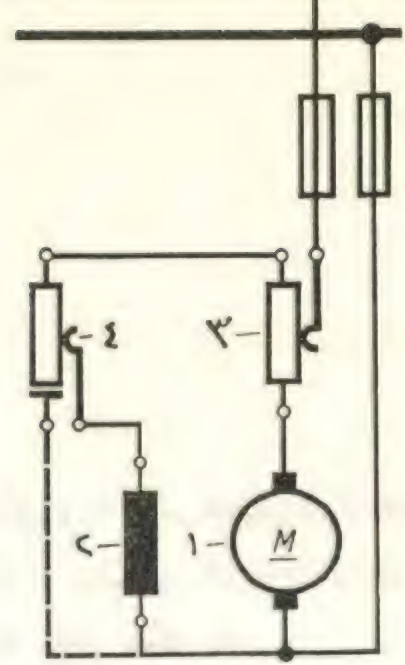


الشكل (١٧٢) احتمالات توصيل محرك ثلاثي الأطوار لا تزامني

- ١ - كيفية ترتيب نهايات الملفات .
- ٢ - توصيل نجمي .
- ٣ - توصيل دلتا .
- ٤ - عكس اتجاه دوران المحرك بإبدال التوصيل .



الشكل (١٧٤) رسم تخطيطي لدائرة محرك تيار مستمر بلف مركب .  
 ١ - العضو الدوار  
 ٢ - الملفات الموصلة على التوازي .  
 ٣ - الملفات الموصلة على التوالي .  
 ٤ - ريوستات المجال لتنظيم السرعة .



الشكل (١٧٣) رسم تخطيطي لدائرة محرك تيار مستمر بلف على التوازي .  
 ١ - العضو الدوار  
 ٢ - ملفات المجال .  
 ٣ - مبدئ التشغيل .  
 ٤ - ريوستات المجال .

ويتميز المحرك ذو اللف المركب بأنه يدور بسرعة ثابتة عند التشغيل بدون حمل فقط ،  
 أي أن خواصه في هذه الحالة تكون مشابهة تماما للمحرك بلف على التوازي ، أما عند تحميله  
 فإن سرعته تنخفض وتستمر في الانخفاض كلما زاد التحميل . وتستخدم مثل هذه المحركات  
 في المصاعد وآلات الإنتاج والآلات المزودة بأثقال حدافة ، مثل المكابس والمثاقب والمقصات .

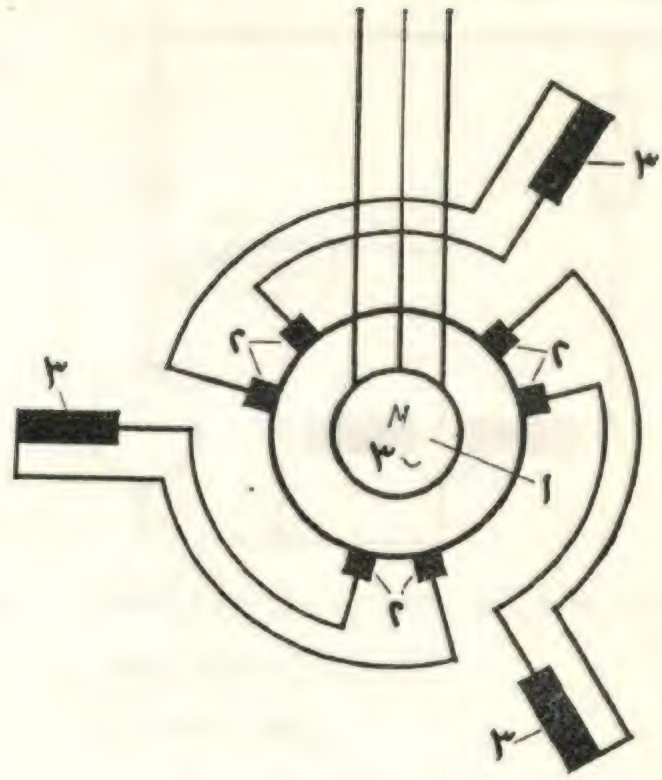
#### (٦٠) محركات ثلاثية الأطوار بلف على التوازي :

من مميزات هذه المحركات إمكانية تغيير سرعتها بدقة متناهية داخل حدود مجال واسع .  
 وتتميز هذه المحركات بثبات سرعة دورانها عند الأحمال المتغيرة . وتوجد مجموعتان من المحركات  
 بلف متواز :

محركات تغذى بالتيار المتردد عن طريق العضو الدوار ، ومحركات تغذى بالتيار المتردد  
 عن طريق العضو الساكن .

وتعتبر المحركات من النوع الأول أكثر المحركات استخداما . ويبين شكل (١٧٥) رسما  
 تخطيطيا لدائرة توصيل محرك بلف متواز ، تجرى تغذيته عن طريق العضو الدوار . ولا يتضمن  
 الرسم التخطيطي ملفات العضو الساكن .





الشكل (١٧٥) رسم تخطيطي لمحرك ثلاثي الأطوار بلف على التوازي وبعضه دوار مغذى بالكهرباء .  
١ - ملفات العضو الدوار .  
٢ - مجموعة المبدل .  
٣ - ملفات المبدل .

ويوجد بهذه المحركات ثلاثة أنواع من الملفات :

الملفات الأولى خاصة بالعضو الدوار ، والثانية خاصة بالعضو الساكن ، والثالثة خاصة بالفرش الموجودة على المبدل ويطلق عليها اسم « ملفات المبدل » .

ويغذى العضو الدوار من الشبكة ، وعندما يدور العضو الدوار يتولد بالحث في ملفات العضو الساكن جهد تتغير قيمته بتغير سرعة العضو الدوار ، كما يتولد أيضا جهد آخر بالحث في ملفات المبدل ، هذا الجهد الأخير يؤثر تأثيرا عكسيا على الجهد المتولد في ملفات العضو الساكن . ومن الممكن تغيير قيمة الجهد المتولد بالحث في ملفات المبدل ، بتغيير نظام وضع الفرش بالمبدل ( عضو التوحيد ) وذلك باستخدام وسيلة ميكانيكية تعمل بطريقة يدوية لتحريك الفرش على المبدل للتحكم في الجهد المتولد بالحث في العضو الساكن . ويتم تغيير سرعة المحرك بتغيير وضع الفرش بالنسبة لبعضها البعض في كل طور من الأطوار بالكيفية التالية :

في حالة تقريب الفرش بحيث يقع كل زوج من الفرش على شدة واحدة من شدات (خوص) ، المبدل ، أى عند عمل قصر دائرة ملفات المبدل المحصورة بين كل زوج من الفرش ، فإن المحرك يدور تماما كمحرك لا تزامنى ( وتفيد هذه الحالة عند بدء التشغيل ) .

أما إذا حركت الفرش بحيث تكون بين الفرشة والأخرى ( لكل زوج من الفرش ) شدة ( أو خوصة ) واحدة ، بدون عكس توصيل ملفات المبدل ، فإن سرعة دوران المحرك تقل عن سرعة التزامن وبظل المحرك لا تزامنيا .



أما إذا حركت الفرش بحيث يكون بين كل فرشة والأخرى شدة (أو خوصة) واحدة ، ولكن بكيفية مختلفة عن الطريقة السابقة ، بحيث تعكس طريقة توصيل ملفات المبدل ، فإن سرعة دوران المحرك تزيد على سرعة التزامن .

ومن مميزات هذه المحركات ، إمكان تغيير سرعتها تدريجيا دون أن يحدث بها أى فقد فى القدرة . وتستخدم هذه المحركات فى إدارة آلات الغزل ومكبس الطباعة الدوارة وآلات صناعة الورق .

#### (٦١) محركات لاتزامنية وحيدة الطور :

يوجد أنواع مختلفة من المحركات وحيدة الطور بسرعة ثابتة أهمها :

- ( أ ) محركات وحيدة الطور بدون وسيلة بدء حركة .
- ( ب ) محركات وحيدة الطور بمكثف .
- ( ج ) محركات ثلاثية الأطوار تعمل كمحركات وحيدة الطور .

#### ( أ ) محركات وحيدة الطور بدون وسيلة بدء حركة :

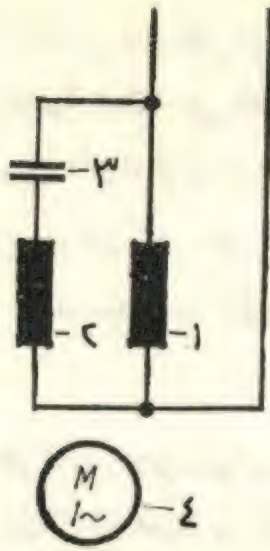
هذه المحركات لا تستخدم حاليا . وتتكون من عضو دوار على هيئة قفص سنجابى ، تغذى بملفاته بتيار متردد فيتولد بها مجال دوار . وهذا المجال غير كاف لإنتاج عزم الدوران المطلوب عند بدء التشغيل . لذلك يفضل إدارة المحرك يدويا عند بدء التشغيل . ويحدد اتجاه بدء التشغيل اتجاه دوران المحرك بعد ذلك .

ويبين شكل (١٧٦) رسما تخطيطيا لدائرة توصيل هذه المحركات ، وهى تستخدم فى تشغيل الأجهزة الكهربائية المنزلية ( مثل الفسالات والثلاجات ) بقدرة مقننة صغيرة تسمح بتوصيلها توصيلا مباشرا بالمنبع .

#### ( ب ) محركات وحيدة الطور بمكثف :

هذا المحرك يشبه فى كثير من النواحي ، المحرك وحيد الطور بدون وسيلة بدء حركة : إلا أنه مزود بوسيلة لبدء تشغيله أتوماتيكيا ( تلقائيا ) دون حاجة إلى تحريكه يدويا . كما أن له اتجاه دوران محدد لا يعتمد على اتجاه بدء الحركة . وهذا المحرك يطلق عليه أيضا اسم محرك بطور مشطور . ويرجع ذلك إلى أن ملفاته مقسمة إلى قسمين يطلق على أحدهما اسم الملفات الرئيسية ويطلق على الأخرى اسم الملفات المساعدة . ويوصل على التوالي بالملفات المساعدة مكثف للحصول فى هذه الملفات على تيار مزاح ، يتقدم التيار المار فى الملفات الرئيسية بحوالى ٩٠° . وبهذه الكيفية يتكون بالمحرك مجالان مغنطيسيان بينهما زاوية ، يؤدى التفاعل بينهما إلى بدء تشغيل المحرك تلقائيا . ويبين شكل ( ١٧٧ ) رسما تخطيطيا لدائرة هذا المحرك .





الشكل (١٧٧) رسم تخطيطي لمحرك وحيد الطور  
بمكثف لبدء التشغيل .

الشكل (١٧٦) رسم تخطيطي لمحرك وحيد الطور  
ليس به وسيلة بدء تشغيل .

١ - الملفات الرئيسية

٢ - الملفات الموصلة على التوازي

٣ - المكثف      ٤ - العضو الدوار .

ويوجد نوعان من المحركات وحيدة الطور بمكثف .

النوع الأول ، فيه تزود الملفات المساعدة بمفتاح ( يعمل يدويا أو بالطرد المركزي ) ، لفصل الملفات المساعدة والمكثف من الدائرة عندما يصل المحرك إلى السرعة المقننة ، وفي هذه الحالة تصمم الملفات المساعدة والمكثف لتعمل لفترة قصيرة فقط ( فترة بدء التشغيل ) .

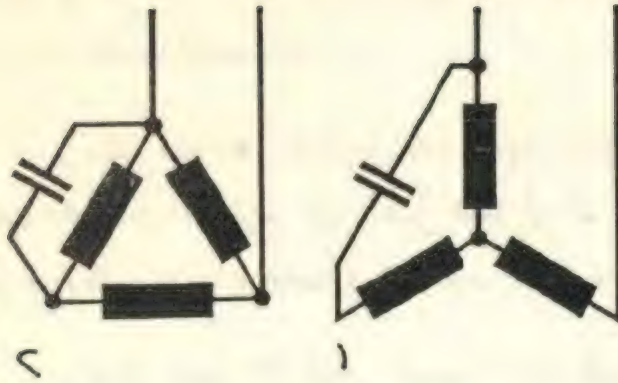
النوع الثاني : فيه تظل الملفات المساعدة والمكثف موصلة بالدائرة حتى بعد وصول المحرك إلى السرعة المقننة . وتصمم الملفات المساعدة والمكثف في هذه الحالة الأخيرة لتعمل طوال فترة تشغيل المحرك .

( ج ) محركات ثلاثية الأطوار تعمل كمحركات وحيدة الطور :

تستخدم المحركات الثلاثية الأطوار بقفص سنجابي والتي لا تتعدى قدرتها المقننة ٣ كيلوات لتعمل كمحركات وحيدة الطور ، وبسرعة ثابتة . ويعيب هذه المحركات أن قدرة خرجها لا تتعدى ٨٠٪ فقط من قدرتها المقننة . وتستخدم المكثفات أيضا في هذا النوع من المحركات لبدء التشغيل . ويتم تحديد قيمة المكثف تبعا لقيمة الجهد المستخدم عليه المحرك . وتقدر قيمة المكثف في حالة محرك يعمل على جهد ٢٢٠ فلت بحوالى ٧٠ ميكروفاراد .

ويبين شكل (١٧٨) رسما تخطيطيا لدوائر محركات ثلاثية الأطوار تعمل كمحركات وحيدة الطور بسرعة ثابتة .





الشكل (١٧٨) كيفية توصيل المحركات الثلاثية الأطوار لتعمل كمحركات وحيدة الطور بمكثف  
١ - محرك ثلاثي الأطوار بتوصيلة النجمة .  
٢ - محرك ثلاثي الأطوار بتوصيلة الدلتا .

## (٦٢) المحركات التزامنية :

لا يختلف تصميم المحركات التزامنية عن تصميم المولدات التزامنية التي سبق شرحها . غير أنه من النادر استخدام المولدات التزامنية ذات المقننات الكبيرة لتشغيلها كمحركات للأسباب الآتية :

( أ ) أن هذه المحركات تحتاج إلى مصدر دائم للتيار المستمر لتغذية ملفات الإثارة لمغنطيسات المجال . لذلك يقرن مع عمود إدارة المولدات المتزامنة ، مولد صغير لتغذية ملفات الإثارة بالتيار المستمر .

( ب ) صعوبة بدء تشغيل هذه المحركات . لذلك تزود المحركات المتزامنة الحديثة بعضو دوار آخر على هيئة قفص سنجاب بالإضافة إلى العضو الدوار الرئيسي . ويستخدم العضو الدوار على هيئة قفص السنجاب في عملية بدء التشغيل للمحرك التزامني . وفي بعض الأحيان يقرن المحرك التزامني بمحرك لا تزامني يستخدم في عملية بدء الحركة ، ويتم فصله عند وصول المحرك التزامني إلى السرعة المقننة .

وتتميز المحركات التزامنية بثبات سرعتها ودقتها . حيث أنها تساوي سرعة المجال للدوار . إلا أنه يعيب هذه المحركات انخفاض سرعتها عند تعرضها للتحميل الزائد ، فتخرج عن سرعة التوازن ، مما يؤدي إلى توقفها تماما . كما أن زيادة التحميل تؤدي إلى زيادة التيار في هذه المحركات بدرجة كبيرة جدا مما يؤدي إلى تلفها .

## ثانيا - محركات بسرعة محكومة بالحمل :

تسمى المحركات التي تعتمد سرعتها على مقدار الحمل محركات بسرعة محكومة بالحمل . وفيما يلي شرح مبسط لأهم أنواع هذه المحركات .

## (٦٣) محركات التيار المستمر بلف على التوالي :

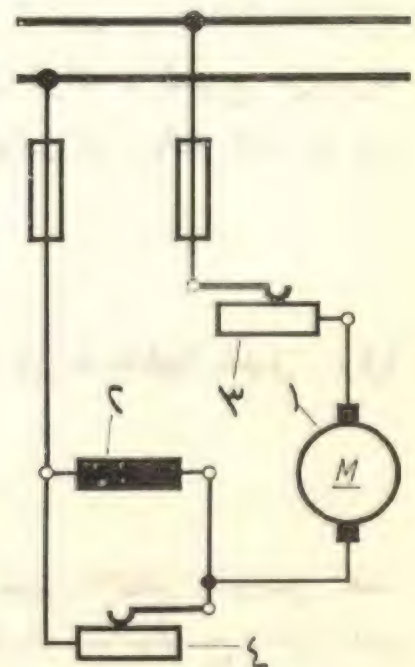
في هذه المحركات توصل ملفات المجال على التوالي بملفات عضو الإنتاج . وتتميز هذه المحركات بأن سرعتها وعزم دورانها يتغيران بطريقة معينة ، بحيث يتناسبان مع الحمل الذي



تقوم به هذه المحركات . ومن أهم مميزات المحركات بلف على التوالي أنه كلما زادت شدة التيار المار في ملفات العضو الدوار تزيد أيضا شدة التيار في ملفات الإثارة ، حيث أنها متصلة على التوالي بملفات العضو الدوار .

وتمتاز هذه المحركات بإمكان قيامها بالحمل عند بدء التشغيل . ويجب أن يراعى عند تشغيل هذه المحركات ألا يرفع عنها الحمل فجأة أو أن تعمل بدون حمل، وإلا أدى ذلك إلى زيادة كبيرة في عزم الدوران ، وخاصة في السرعات العالية ، مما يترتب عليه تحطيم المحرك .

ولتلافى تحطيم المحركات الصغيرة ذات القدرة الكسرية ( أقل من حصان واحد ) من هذا النوع ، تستخدم عادة رياش مروحة تبريد المحرك المركبة على عمود إدارته ، كحمل دائم لحمايته من زيادة السرعة عند بدء التشغيل أو عند رفع الحمل الأساسى من عليه . ومن أمثلة المحركات الصغيرة التى تستخدم فيها وسائل الحماية هذه محركات تجفيف الشعر ، والمراوح الصغيرة والمكانس الكهربائية . لذلك يراعى عند تصميم مراوح تبريد هذه المحركات أن يكون تغير مقدار مقاومة الهواء لرياش هذه المراوح مناسباً ، بحيث تمنع أى زيادة غير عادية في سرعة المحرك . ويبين شكل (١٧٩) رسماً تخطيطياً لدائرة محرك من هذا النوع . وتصلح المحركات الكبيرة من هذا النوع للتشغيل الثقيل ، مثل الجر الكهربائى ( السكك الحديدية الكهربائية ) ، والآلات المستخدمة في مصانع إنتاج المعادن ( مكائن الدرفلة ) . وتصمم هذه المحركات أيضا في بعض الأحيان بقدرة خرج صغيرة لتعمل على التيار المتردد والتيار المستمر في نفس الوقت .



الشكل (١٧٩) رسم تخطيطى لمحرك تيار مستمر بلف على التوالي :

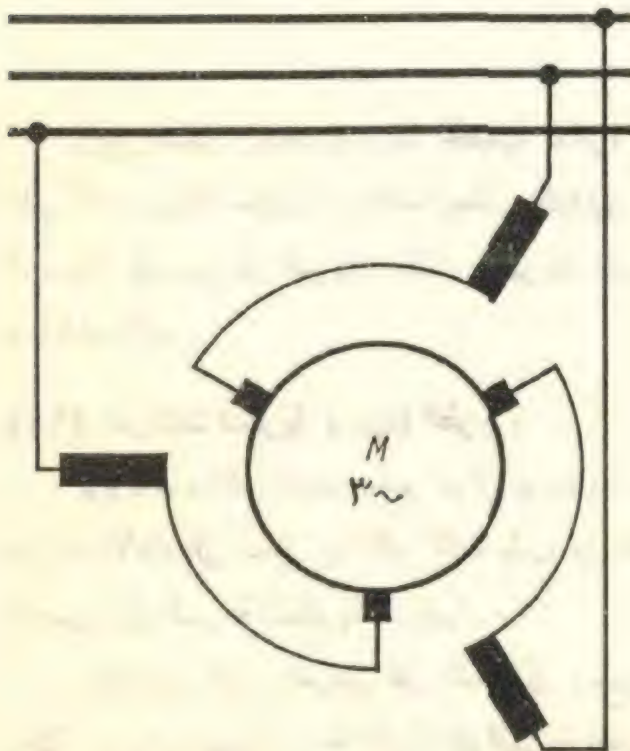
- |                  |                    |
|------------------|--------------------|
| ١ - العضو الدوار | ٣ - مبدئ التشغيل   |
| ٢ - ملفات المجال | ٤ - ريوسنات المجال |

#### (٦٤) محركات ثلاثية الأطوار بلف على التوالي :

هذا المحرك له نفس مزايا محرك التيار المستمر بلف على التوالي ، كما أنه يمتاز بإمكان قيامه ببدء الحركة ذاتيا بإزاحة الفرش ، وبذلك يمكن تجنب وجود أى فقد عند بدء الحركة . ويبين شكل (١٨٠) رسما تخطيطيا لدائرة إحدى هذه المحركات . ويغيب مثل هذه المحركات انخفاض قدرتها المقننة .

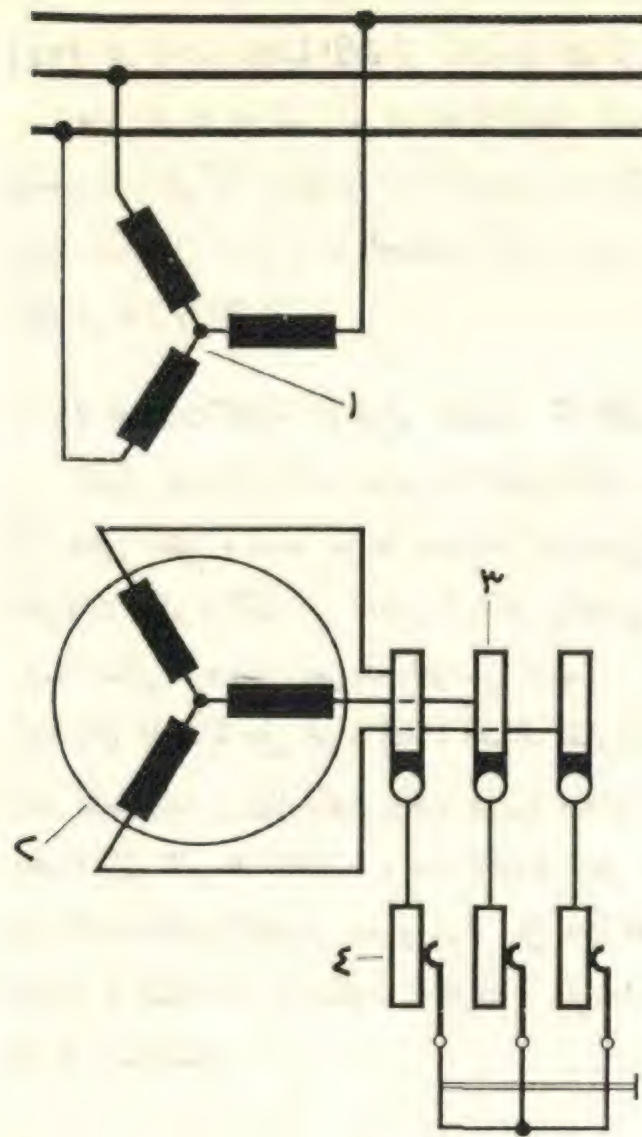
#### (٦٥) محركات ثلاثية الأطوار بحلقات انزلاق :

تتميز هذه المحركات بعزم بدء تشغيل عال ، وبأن بدء حركتها يتم بطريقة سهلة وتدرجية . كما يمكن تنظيم وضبط سرعة هذه المحركات حتى تصل إلى السرعة اللائزمانية المقننة . وفي هذه المحركات يكون لكل من العضو الساكن والعضو الدوار ملفات خاصة به ، وترتب هذه الملفات بحيث يمكن توصيلها بطريقة التوصيل النجمي ، على أن توصل نهايات الملفات المتصلة بحلقات الإنزلاق المركبة على عمود إدارة المحرك بمقاومات لحد من تيار بدء التشغيل . ويستخدم في هذه المحركات عادة وسيلة تقوم بقصر دائرة ملفات العضو الدوار ، وفصل الفرش بمجرد وصول المحرك إلى السرعة المقننة . وبهذه الكيفية تعمل هذه المحركات بعد بدء الحركة كما لو كانت محركات ثلاثية الأطوار بعضو دوار على هيئة قفص سنجاب . ويفضل عادة توصيل وسيلة بدء الحركة ( المقاومات ) بملفات المحرك ، على أن تفصل من الدائرة بمجرد وصول العضو الدوار إلى السرعة المقننة .



الشكل (١٨٠) رسم تخطيطي لدائرة محرك ثلاثي الأطوار بلف على التوالي .





الشكل (١٨١) رسم تخطيطي لدائرة محرك

حتى ثلاثي الأطوار بحلقة انزلاق

١ - العضو الساكن

٢ - العضو الدوار

٣ - حلقات الانزلاق

٤ - مبدئ التشغيل (مقاومة متغيرة)

ويبين شكل (١٨١) رسماً تخطيطياً لدائرة محرك من هذا النوع . ويستعمل هذا النوع من المحركات بصفة خاصة ، عندما يتطلب التشغيل القيام بالحمل مباشرة عند بدء الحركة مع إمكان الوصول إلى سرعة الدوران المطلوبة بطريقة تدريجية . ولذلك فهي ملائمة للتشغيل في الأوناش وما شابه ذلك .

#### (٦٦) محركات تنافرية وحيدة الطور :

تزود هذه المحركات بعضو دوار به ملفات ومبدل (عضو توحيد) . ولهذه المحركات نفس مميزات الأداء التي تتميز بها المحركات بلف على التوالي ، وهي سهولة بدء الحركة بالحمل مع إمكان الوصول إلى السرعة المطلوبة تدريجياً .

ويفضل وضع الفرش على المبدل في وضع معين ليبدأ المحرك في الدوران بأقل قدرة دخل ممكنة . وعند وصول سرعة المحرك إلى السرعة المقننة ، تقوم وسيلة تعمل بالقوة المركزية الطاردة ،

بفصل الفرش وقصر دائرة ملفات العضو الدوار ، وعندئذ يعمل المحرك التنافرى كما لو كان محركا حثيا بعضو دوار على هيئة قفص سنجاب بسرعة ثابتة . ويتم تغيير سرعة المحرك بعد ذلك بتغيير وضع الفرش على شذفات المبدل . ويبين شكل (١٨٢) رسما تخطيطيا بالدائرة محرك من هذا النوع .

ويصلح هذا المحرك لتشغيل المكابس ، وكباسات الهواء وأجهزة التكييف التى تحتاج إلى عزم بدء تشغيل عال .

### المغناطيسات الكهربائية

#### (٦٧) المغناطيسات الرافعة :

تستخدم المغناطيسات الكهربائية الرافعة فى تحميل المواد الحديدية وفى نقلها لمسافات قصيرة . ويبين شكل (١٨٣) مدى قدرة المغناطيس الكهربائى ليقوم برفع مثل هذا الحمل .

#### (٦٨) المغناطيسات الكهربائية المستخدمة فى تثبيت المشغولات :

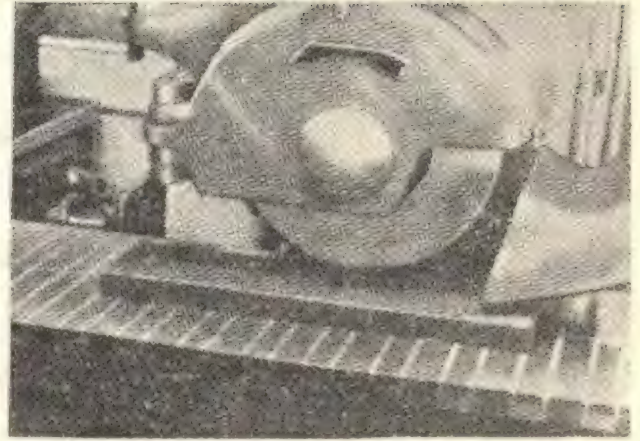
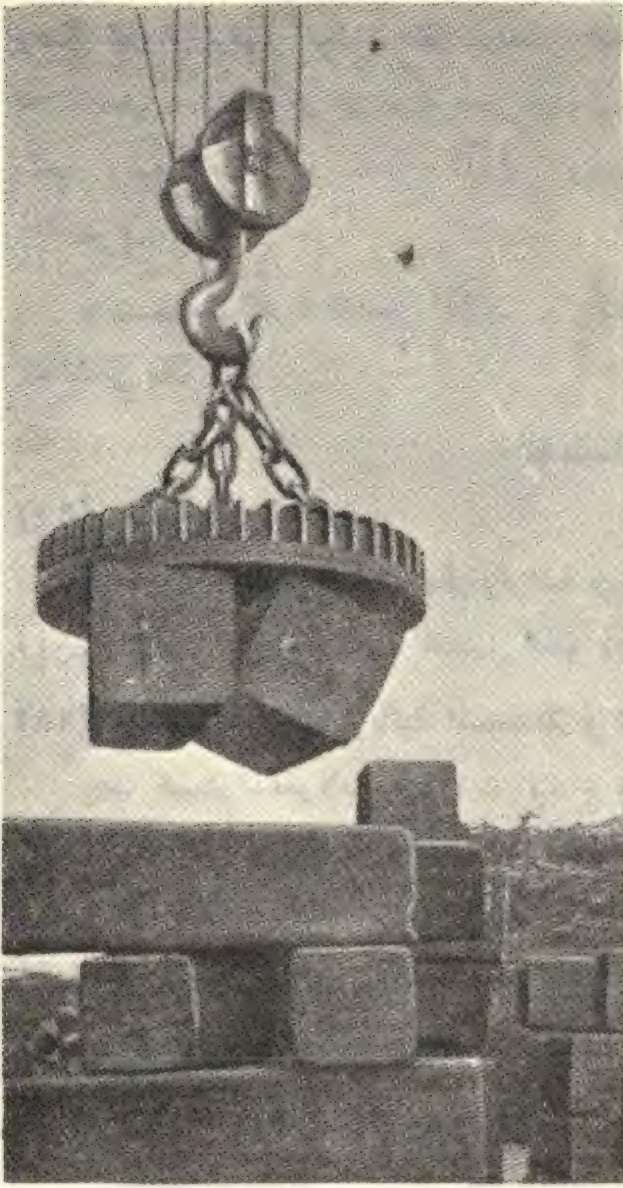
يجب تثبيت المشغولات على آلات الإنتاج فى مكانها تماما وبطريقة تضمن بقاءها فى موضعها أثناء إجراء عمليات التشغيل المختلفة . ولبعض المشغولات شكل غير منتظم بحيث يتعذر تثبيتها فى موضعها بالطرق التقليدية . فإذا طلب تجليخ أو كشط قطعة منشورية مثلا بدقة عالية . فإننا نحصل على أحسن النتائج باستخدام المغناطيسات الكهربائية فى مسك وتثبيت هذه القطعة . لذلك تزود معظم آلات التشغيل الحديدية بمغناطيسات كهربائية كتلك المبينة بالشكل (١٨٤) بدلا من وسائل المسك، أو التثبيت المألوفة .



الشكل (١٨٢) رسم تخطيطى لدائرة محرك تنافرى .



الشكل (١٨٣) مغنطيس رافع



الشكل (١٨٤) مغنطيس كهربائي يستخدم  
لتنشيط المشغولات على سطح ما كينة تجليخ



## الباب السابع

### أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة كيميائية

يطلق في كثير من الأحيان على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية اسم التحويل الكهر كيميائي أو التحليل الإلكترو لى .

ويستخدم التحليل الإلكترو لى فى أغراض شتى فى الصناعة منها :

١ - إنتاج المعاد بالترسيب الكهر بائى .

٢ - جلقنة المعادن .

٣ - جلقنة اللدائن ، أو جلقنة البلاستيك .

#### (٦٩) إنتاج المعادن بالترسيب الكهر بائى :

يستخدم التحليل الكهر بائى فى الصناعة للحصول على المعادن النقية مثل النحاس والألومنيوم ، إلخ . فيستخرج الألومنيوم النقى بالتحليل الكهر بائى للمخلوط المكون من أكسيد الألومنيوم المذاب فى مصهور رخام الكريوليت . كما يتم إنتاج الصودا الكاوية ( هيدروكسيد الصوديوم ) بتحليل محلول ملح الطعام كهر بائيا . ولن نتناول هذا المجال بالتفصيل ، وإنما نكتفى ببعض الأمثلة التى يستخدم فيها الترسيب الكهر بائى لإنتاج المعادن النقية .

#### (٧٠) جلقنة المعادن :

يستخدم الترسيب الكهر بائى فى طلاء أسطح المعادن القابلة للصدأ بتغطيتها بطبقة رقيقة واقية من معدن آخر غير قابل للصدأ ، مثل الكروم أو الفضة أو النيكل أو النحاس ، أو أى معدن من المعادن النفيسة ، كما يفيد أيضا فى إعطاء سطح المعادن بريقا لامعا .

#### الخطوات المتبعة فى عملية جلقنة المعادن :

ينظف سطح المعدن المراد طلاؤه تنظيفا جيدا بمعاملة سطحه لإزالة الصدأ أو الدهون التى قد تكون عالقة به . ثم يوضع هذا المعدن فى الإلكترو لىت ويستخدم كهبط ( كاثود ) ، بينما يستخدم المعدن النفيس ( النيكل مثلا ) كمصعد ( أنود ) وبذلك تخرج أيونات المعدن النفيس من المصعد وترسب على سطح المعدن الجارى طلاؤه . وتصنع أحواض الترسيب عادة من ألواح الصلب المبطن بمواد عازلة مثل الفخار اللامع ، أو من الحديد المغطى بالطلاء من الصينى ، أو من



ألواح من الزجاج. ويحتوى الإلكتروليت عادة على ملح من الأملاح المعدنية البسيطة الخاصة بالمعدن النفيس مثل أملاح الكلوريدات ، أو أملاح الكبريتات أو من ملح من أملاح السيانيد المزدوجة كأملح النحاس المزدوجة ، أو أملاح الفضة المزدوجة ، إلخ .

وتجرى تغذية التيار المستمر المستخدم فى عملية الترسيب الكهربائى بإحدى الطرق الآتية :

١ - بواسطة مجموعة محرك - مولد مركبة على قاعدة مشتركة . وفيها يغذى المحرك اللا تزامنى بنظام تيار متردد ثلاثى الأطوار ، فيدفع المولد لينتج التيار المستمر اللازم لهذه العملية . ويتراوح جهد التيار المستمر المستخدم فى مثل هذه النظم بين ٤ فلت ، ٤٠ فلت حسب الحاجة . أما القدرة المقننة المستخدمة فى عمليات الترسيب فتتراوح بين ١٨,٠٠٥ كيلووات - أى أن التيار المقنن المستخدم فى عمليات الترسيب عند جهد ٦ فلت يتراوح بين ١٠٠ ، ٣٠٠٠ أمبير .

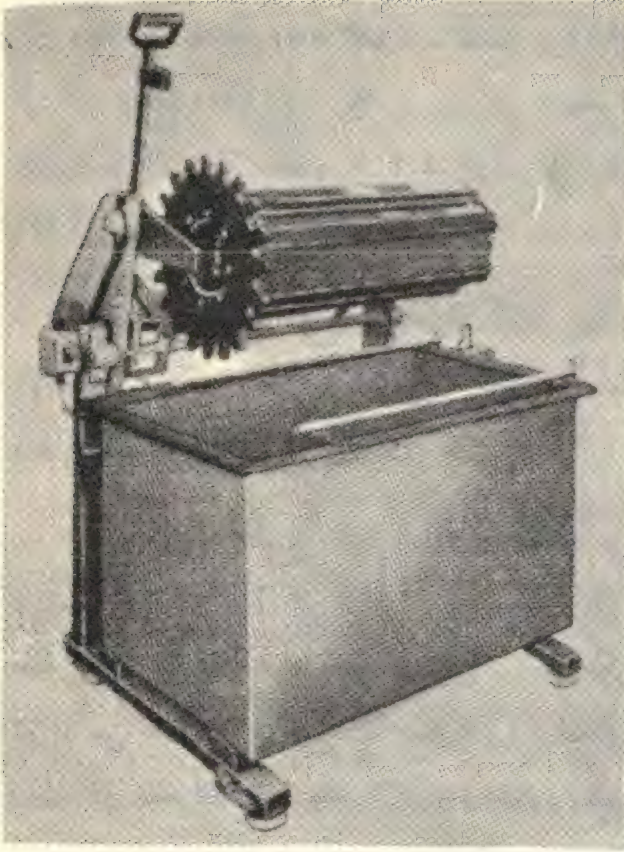
٢ - بواسطة مقومات شبه موصلة بترديد الهواء أو الزيت . ويتم توصيل مجموعات منها على التوالى وعلى التوازى للحصول على الجهد والتيار اللازمين . والجهود المقننة المستخدمة عادة فى مثل هذه النظم هى ٨ فلت ، ١٦ فلت ، ٢٥ فلت . وتتراوح شدة التيارات المستمرة المستخدمة لهذا الغرض بين ١٥٠ ، ٥٠٠٠ أمبير .

وتحتوى المعدات الكهربائية المستخدمة فى عملية الترسيب على أجهزة قياس ، وأجهزة تحكم ، ومعدات للوصل والقطع ، ومعدات لعكس اتجاه التيار ( عكس القطبية ) . ويفضل فى كثير من الأحيان ، من الناحية الاقتصادية ، عدم تغطية سطح المعادن المراد طلاؤها بالطبقة الواقية النهائية مباشرة ، فقد اتضح مثلاً من الناحية العملية أن طبقة الكروم المستخدمة فى طلاء الحديد تصبح أكثر ثباتاً إذ طليت الأجزاء الحديدية أولاً بطبقة من النيكل أو من النحاس بالوسائل الكهروكيميائية قبل طلاؤها بالكروم .

وقد أدى إدخال النظم الأتوماتيكية فى عمليات الحلقة إلى استحداث أجهزة ومعدات ذات كفاءة عالية لمعاملة السطوح ، وطلاء المعادن بطرق اقتصادية ، وتستخدم فى هذه المعدات أحدث الطرق الكهروكيميائية التى تضمن طلاء جميع الأجزاء المعدنية بطبقة متجانسة وبالسبك المطلوب تماماً .

وتصنع أحواض الطلاء بأشكال مختلفة ، فهناك أحواض على هيئة متوازى مستطيلات تستخدم فى طلاء الأجزاء الكبيرة ، كما توجد أحواض صغيرة على شكل برميل كما هو مبين بشكل ( ١٨٥ ) أو على شكل ناقوس يوضع فيها الإلكتروليت ؛ وتستخدم هذه البراميل لطلاء الأجزاء الصغيرة . وتدار هذه الأحواض لكى تحرك الأجزاء المعدنية المراد طلاؤها بصفة مستمرة . فتضمن بذلك تغطيتها بطبقة متجانسة من النيكل أو الكروم أو الفضة ، إلخ . كما توجد أنواع مختلفة من المعدات التى تجرى فيها جميع خطوات عملية الحلقة أوتوماتيكياً ، ابتداء من تحميل المشغولات إلى غسلها وجلفنتها وتجفيفها ثم نقلها وتخزينها .





الشكل (١٨٥) برميل مستخدم في  
عملية الطلاء بالكهرباء للأجزاء الصغيرة

#### (٧١) جلفنة اللدائن (البلاستيك المجلفنة) :

تستخدم عملية جلفنة اللدائن في الحصول على نموذج معدني له سمك معقول وله شكل مطابق تماما للشكل المحفور على قطعة من مادة غير موصلة ، من البلاستيك مثلا .

ويستخدم هذا النموذج المعدني في إعادة طبع هذا الشكل على الورق أو على رقائق الألومنيوم أو البلاستيك عددا هائلا من المرات، دون أن يؤدي ذلك إلى تلف النموذج أو تشويهه . وهذه الطريقة من أحدث الطرق المستخدمة في طباعة الأشكال والصور في المجلات والكتب وغير ذلك . كما تستخدم عملية جلفنة اللدائن في إنتاج الاسطوانات المسجلة .

#### الخطوات المتبعة في جلفنة اللدائن :

١ - عمل القالب أو النموذج الأساسي ، ويمثل أولى خطوات عملية جلفنة اللدائن ، وكان الشمع يستخدم فيما مضى لعمل القالب ، وذلك بنقش نموذج للصورة المراد طباعها عليه أو بحفر الشكل به . وتستخدم حاليا ألواح البلاستيك لعمل النموذج الأساسي بدلا من الشمع .

٢ - عمل طبقة أولية رقيقة من مادة موصلة تأخذ نفس الشكل المحفور بالقالب . وتتميز هذه الطبقة بإمكان ترسيب المعدن عليها ، للحصول على نموذج معدني له سمك معقول وله نفس شكل القالب . على أن تتميز أيضا بسهولة نزعها من النموذج الأصلي . ويمكن عمل هذه الطبقة

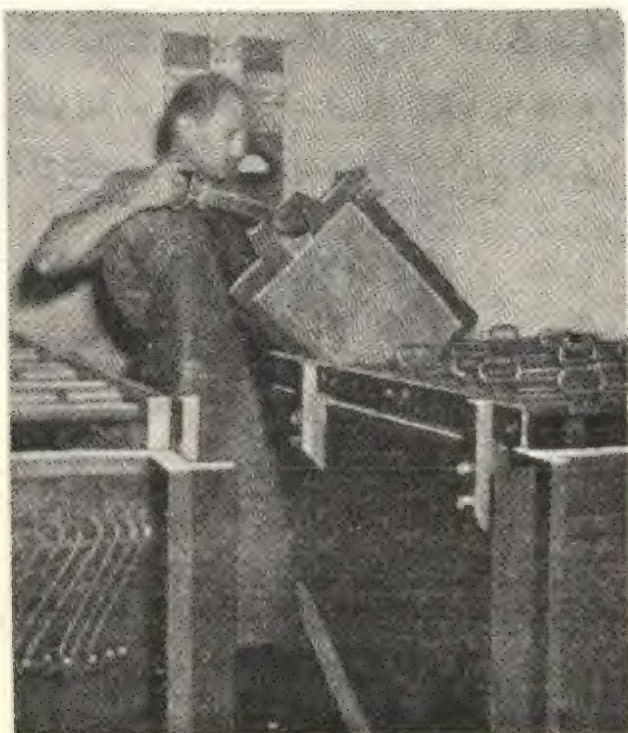


الموصلة الرقيقة في حالة القوالب الشمع برش النموذج بالجرافيت . أما في حالة القوالب البلاستيك فينظف سطح النموذج المحفور ويرش بمسحوق الفضة ( الطريقة الجافة ) ، أو يغمر في محاليل الفضة ( الطريقة المغمورة ) فتتكون على سطح النموذج طبقة موصلة يسهل نزعها بعد ذلك . كما هو مبين بالشكل ( ١٨٦ ) .

٣ - يوضع اللوح البلاستيك المطلي بالفضة ( أو الشمع المطلي بالجرافيت ) في الخوض الإلكتروني ويوصل بالمهبط ، فيترسب عليه النيكل حتى تتكون طبقة ذات سمك معقول ولها نفس الشكل المراد طبعه .

٤ - يرفع اللوح البلاستيك بعد ثلاثه من هذا الخوض وينظف بحمض الكبريتيك المخفف ويغمر في محلول إلكتروليتي آخر مكون من كبريتات النحاس وحمض الكبريتيك لترسب عليه طبقة صلدة أخرى من النحاس . كما يمكن بعد ذلك ترسيب طبقة أخرى من الكروم عليه لتزيد من صلابته . ويتوقف سمك النموذج المعدني وصلادة سطحه على عدد النسخ المطلوب طبعها ، فكلما قل عدد النسخ ، يقل الإهتمام بسمك وسطح النموذج ، والعكس صحيح .

٥ - ينزع هذا النموذج المعدني بعد ذلك من اللوح البلاستيك ، ويستخدم في عمليات الطباعة على الورق أو البلاستيك أو رقائق الألومنيوم ، وبذلك نحصل على صورة طبق الأصل للنموذج المراد طبعه بكل دقائه وتفصيله .



الشكل ( ١٨٦ ) عملية تصنيع نماذج القوالب بالطرق الكهر كيميائية .

ولا تخلو أى مطبعة حديثة من قسم خاص بـ جلفنة اللدائن . وتنتج الأسطوانات المسجلة بواسطة جلفنة اللدائن ، فيشكل النموذج الأصلى للأسطوانة على لوح من البلاستيك الذى يطلى بعد ذلك بالفضة . ويوضع اللوح بعد ذلك فى المحلول الإلكتروليتى حيث يوصل بالمهبط لترسب عليه طبقة من النحاس أو من النيكل والنحاس . وينزع النموذج المعدنى بعد ذلك من اللوح البلاستيك ، ويستخدم كنموذج لطبع هذه الأسطوانة المسجلة ، على رقائق من البلاستيك ، فنحصل بذلك على عدد غير محدود من الأسطوانات المسجلة .

ويتم طبع الأسطوانات بوضع رقائق البلاستيك ( الأسطوانات المطلوبة ) بين فكي النموذج المعدنى الذى تم تشكيله . ثم يضغط عليها بواسطة مكبس . ويجب تسخين المجموعة أثناء تسليط الضغط لدرجة حرارة أقل قليلا من درجة انصهار البلاستيك حتى يتم حفر الشكل على الأسطوانات بكل ما فى النموذج الأصلى من تفاصيل . وقد أمكن باستخدام الطرق الأتوماتيكية الحديثة تخفيض عدد الساعات اللازمة لإنتاج النموذج الأصلى من ٩٠ ساعة لنموذج واحد إلى ٢٤ ساعة لإنتاج ١٦ نموذجا .





## الباب الثامن

### أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة ضوئية

(٧٢) عام :

يمكن تقسيم مصادر الإضاءة المستخدمة في الهندسة الضوئية إلى نوعين رئيسيين هما :

(أ) المشعات الساخنة ، مثل المصابيح المتوهجة :

وفيها يقوم التيار الكهربائي المار في المصابيح المتوهجة بتسخين الفتيلة ، فتخرج منها أشعة مرئية عندما تبلغ درجة حرارتها ٥٥٥٠ م

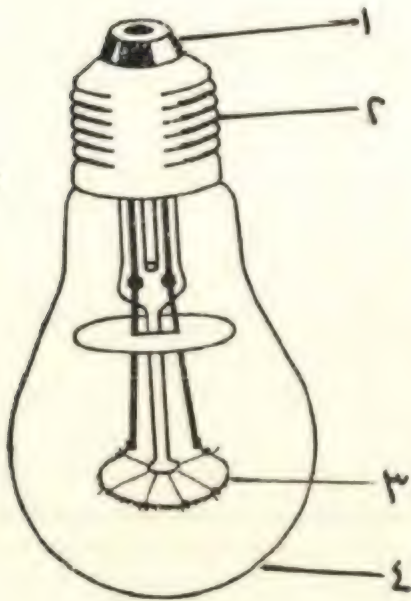
(ب) المشعات الباردة ، مثل مصابيح التفريغ المتألقة :

وفيها تم الإضاءة بواسطة الشحنات الكهربائية التي تتولد في الغاز أو في أبخرة المعادن أو بواسطة إشعاع بعض المواد المضيئة .

(٧٣) المصابيح المتوهجة :

يبين الشكل (١٨٧) تصميم لمصابيح الاستخدام العام .

ويعتبر هذا النوع من المصابيح في الوقت الحاضر أكثر مصادر الضوء استخداما لإنارة الحجرات والأماكن العامة . وتصنع الفتائل المتوهجة في معظم الحالات من التنجستن . وتنقسم هذه الفتائل من ناحية الشكل إلى نوعين : أحدهما على شكل حلزون مفرد ، والآخر على شكل حلزون مزدوج . وتوضع الفتيلة داخل بصيلة ( وعاء ) زجاجية مفرغة من الهواء أو مملوءة بغاز خامل مثل غاز الأرجون أو غاز الكريبتون .



الشكل (١٨٧) التصميم الأساسي لمصباح الاستخدام العام

١ - الملامس المركزي

٢ - قاعدة المصباح

٣ - الفتيلة المتوهجة

٤ - الوعاء الزجاجي ( البصيلة ) .

وتزود مصابيح الاستخدام العام التي لا تتعدى قدرتها ٢٠٠ وات بقاعدة لولبية عادية ( بقطر ٤٠ مم ) أو بقاعدة ذات مسبار ، بينما تزود المصابيح التي تتعدى قدرتها ٣٠٠ وات بقاعدة لولبية كبيرة ( بقطر ٤٧ مم ) .

وتصمم مصابيح الاستخدام العام لتعمل على جهد ٢٢٠ فلت أو ١١٠ فلت . أما القدرة المقننة لمصابيح الاستخدام فهي ١٥ وات ، ٢٥ وات ، ٤٠ وات ، ٦٠ وات ، ٧٥ وات ، ١٠٠ وات ، ١٥٠ وات ، ٢٠٠ وات ، ٥٠٠ وات ، ١٠٠٠ وات ، ٢٠٠٠ وات .  
ويختلف تصميم المصابيح المتوهجة وأشكالها باختلاف الغرض الذي صنعت من أجله .  
وفيما يلي بعض أمثلة للمصابيح المتوهجة :

#### مصابيح الإضاءة الصغيرة :

مثل مصابيح التليفونات ، وإضاءة التداريج في الأجهزة ، والمصابيح المستخدمة في الدراجات والعربات ، إلخ .

#### مصابيح الإضاءة العالية :

مثل المصابيح المستخدمة في مقدمة السيارات ، وفي الكشافات ، وفي أجهزة السينما .

#### مصابيح الضوء الغامر :

مثل المصابيح المستخدمة في الكاميرات وأجهزة التصوير .

#### (٧٤) مصابيح التفريغ المتألقة :

توجد أنواع كثيرة من مصابيح التفريغ المتألقة، والتي يختلف تصميمها وشكلها وطريقة أدائها باختلاف الغرض الذي صنعت من أجله .

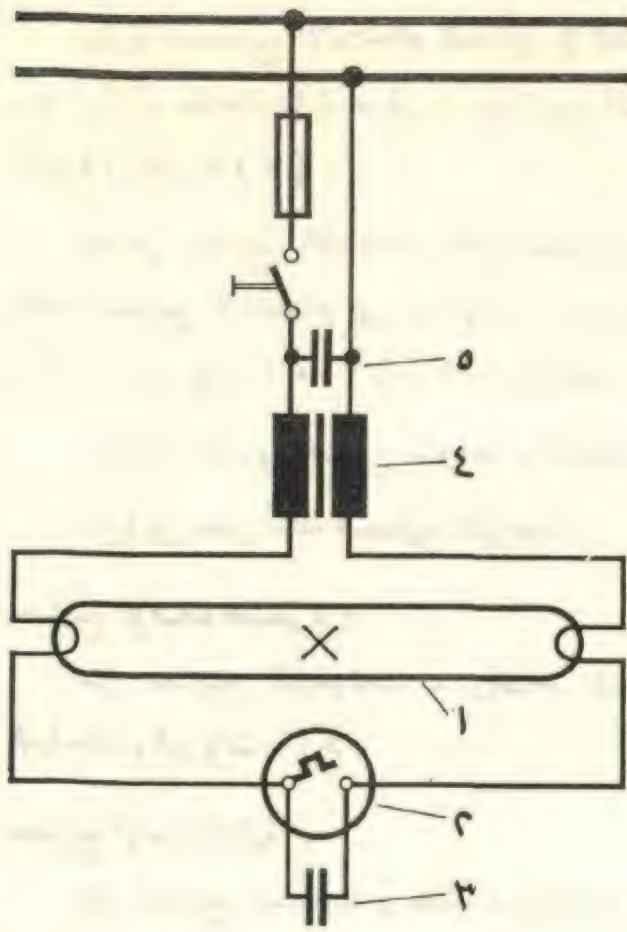
وتعتمد طريقة أداء هذه المصابيح والضوء الصادر منها على المتغيرات الآتية :

- الضغط الجوى الموجود داخل أنابيب المصابيح .
  - الجهد الذى تعمل عليه هذه المصابيح .
  - نوع الغازات أو الأبخرة الموجودة داخل الأنبوبة .
- ومن أهم أنواع هذه المصابيح :

#### ١ - المصابيح الفلورسنتية ( بجهد منخفض وضغط جوى منخفض ) :

يستخدم هذا النوع من المصابيح الفلورسنتية عادة على جهد ٢٢٠ فلت ، وقد أدخل الكثير من التحسينات على مميزات أداء هذه المصابيح ، بحيث شاع استخدامها في كثير من الأغراض التي تستعمل فيها المصابيح المتوهجة العادية .





الشكل (١٨٨) رسم لدائرة توصيل

المصباح الفلورسنت بجهد منخفض

١ - المصباح

٢ - مبدئ التشغيل

٣ - مكثف لمنع الشوشرة (على أجهزة الراديو).

٤ - ملف كبح التيار .

٥ - مكثف التعويض

ويوضح الشكل (١٨٨) رسماً تخطيطياً لدائرة توصيل نوع من أنواع المصابيح الفلورسنتية

العادية مع بيان طريقة عمله .

الشكل والتصميم وطريقة عمل المصابيح الفلورسنتية :

يتوقف عمل المصابيح الفلورسنتية على حدوث تفريغ كهربائي في غاز أو بخار مخلخل موضوع في حيز مغلق تماماً . وتصنع المصابيح الفلورسنتية من أنابيب زجاجية جدرانها الداخلية مغطاة بطلاء يتوهج بفعل الأشعة فوق البنفسجية ( غير المرئية ) والتي تتولد عند حدوث تفريغ كهربائي في البخار أو في الغازات الموجودة داخل الأنبوبة . ونزود الأنبوبة بقطبين ( الكترودين ) ، ويتركب كل قطب من فتيل من التنجستن مثبت في إحدى نهايتي الأنبوبة . وعند مرور التيار الكهربائي بالفتيل يقوم بتسخين لوحات معدنية موضوعة أمامه فتنتطلق منها الإلكترونات أو الشحنات الكهربائية السالبة وتندفع بسرعة داخل الأنبوبة بفعل المجال الكهربائي الموجود بين القطبين . ويؤدي ذلك إلى تأين الغاز أو البخار الموجود بداخلها و مرور تيار إلكتروني يسمى تيار التفريغ داخل الأنبوبة ، وعندئذ تزول الحاجة إلى تسخين الفتيلين ، فيقطع التيار المار بهما بواسطة قاطع أوماتيكي ثنائي المعدن يطلق عليه اسم « وسيلة بدء التشغيل » و يوصل على التوالي بأقطاب

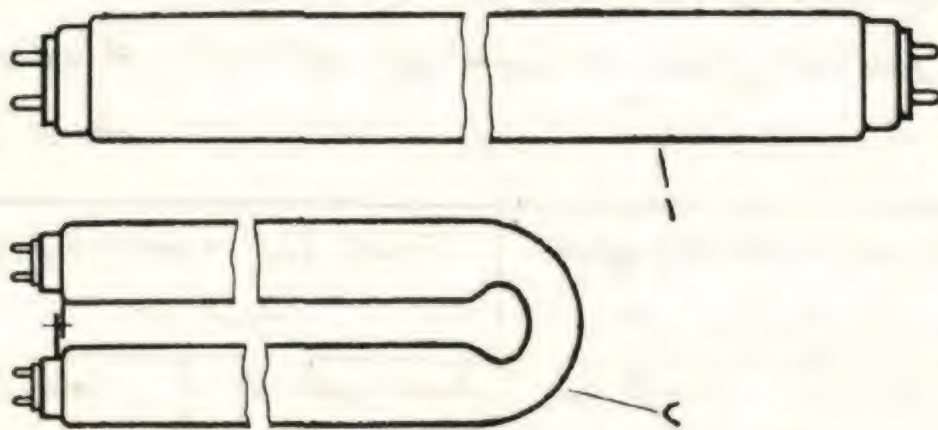
المصباح ملف خائق مكون من عدد كبير من اللفات قيمة حثها اذاتى كبيرة جدا . و يفيد الملف الخائق فى الغرضين الآتيين :

( ١ ) عند انقطاع تيار التسخين فجأة بواسطة وسيلة بدء التشغيل يتولد بالملف الخائق فلطية ذات قيمة عالية تكفى لإشعال المصباح و حدوث التفريغ الكهربائى المطلوب .

( ب ) عند حدوث التفريغ المطلوب يقوم الملف الخائق بكبح التيار نتيجة لزيادة الحث اذاتى فيه ( كلما زادت شدة التيار المار فيه ) ، وبذلك يقلل من شدة تيار التفريغ كما أنه يعمل على تنظيمه والتحكم فيه . ولهذا السبب الأخير يطلق على الملف الخائق فى بعض الأحيان اسم «وحدة كبح التيار» .

ويوضح شكل (١٨٩) بعض الأشكال التى تصنع على أساسها المصابيح الفلورسنتية . ويبين الجدول التالى الأطوال النمطية للأنبوبة وقدرة دخل المصباح الفلورسنتى المقابلة لكل من هذه الأطوال .

أنابيب بشكل حرف (U)		أنابيب بشكل قضيب				قدرة الدخل بالوات
٤٠	٢٥	٦٥	٤٠	٢٥	٢٠	
٥٢٥	٤١٠	١٥٠٠	١٢٠٠	٩٧٠	٥٩٠	طول الأنبوبة بالمليمتر



الشكل (١٨٩) أشكال المصابيح الفلورسنت ذات الجهد المنخفض

١ - مصباح فلورسنت بشكل قضيب .

٢ - مصباح بشكل حرف U



## مميزات المصابيح الفلورسنتية بجهد منخفض وضغط منخفض :

تمتاز هذه المصابيح بكفاءة ضوئية عالية ، كما أن متوسط عمرها طويل ، وتبلغ كفاءة مصابيح التفريغ بصفة عامة ثلاثة أو أربعة أضعاف كفاءة المصابيح المتوهجة التي تماثلها في الاستهلاك . ومتوسط عمر هذه المصابيح يتراوح بين ٥٠٠٠ و ٨٠٠٠ ساعة ، على أساس استمرار تشغيل المصباح أربع ساعات متواصلة في كل مرة يتم فيها تشغيل دائرته . بينما لا يتعدى عمر المصباح المتوهج في المتوسط ١٠٠٠ ساعة تشغيل .

ومن مزايا هذه المصابيح أنها تعطى إضاءة تشبه ضوء النهار . كما يمكن صنع هذه المصابيح بحيث ينبعث منها الضوء بألوان مختلفة ، كالأبيض المتعادل والأبيض المصفر ، والأبيض ضعيف النفاذية . وتستخدم بعض المصابيح الفلورسنتية التي ينبعث منها الضوء الزاهية مثل الأخضر أو الأحمر أو الأزرق لأغراض خاصة كالإعلان والزينة ، إلخ .

## ٢ - المصابيح الفلورسنتية بجهد عال وضغط عال جوى منخفض ( مصابيح النيون ) :

يطلق على المصابيح الفلورية ذات الضغط الجوى المنخفض والتي تعمل على جهد عال اسم « مصابيح النيون » . تستخدم مصابيح النيون في الإعلانات المضيئة فقط . ويستخدم مع هذه المصابيح محولات بجهد ثانوى يصل إلى ٦ ك.ف. وتنبعث من هذه المصابيح إضاءة بألوان مختلفة ، مثل الأزرق أو الأحمر أو الأخضر كما سبق أن ذكرنا . ويؤدى نوع الغاز الموجود بأنبوبة المصباح ولون زجاجة المصباح إلى الحصول على اللون المطلوب . وفيما يلى جدول يبين لون الضوء المنبعث الذى يمكن الحصول عليه من مصابيح النيون بتغيير لون الزجاجة ونوع الغاز المستخدم .

المصابيح ذات الضوء الأزرق المملوء بغاز النيون		المصابيح ذات الضوء الأحمر المملوء بخليط من غاز النيون والأرجون وبخار الزئبق	
لون الزجاجة	لون الضوء المنبعث	لون الزجاجة	لون الضوء المنبعث
زجاجة شفافة	أزرق فاتح	زجاجة شفافة	برتقالى على أحمر
زجاجة صفراء	أخضر	زجاجة حمراء	أحمر قان
زجاجة بنية	أصفر	زجاجة بيضاء	أحمر فاتح
زجاجة خضراء	أخضر فاتح		
زجاجة بيضاء	أزرق فاتح		



وتوضح البيانات التالية قيم الجهد والتيار التي تعمل عليها مصابيح النيون :

المصابيح ذات الضوء الأزرق بقطر ٢٧ م - ٢١٠ فلت لكل متر طول ويمر بها ٣٥ ملي أمبير

المصابيح ذات الضوء الأزرق بقطر ٢٢ م - ٢٥٠ فلت لكل متر طول ، ويمر بها ٥٠ ملي

أمبير .

المصابيح ذات الضوء الأحمر بقطر ١٢ م - ٣٠٠ فلت لكل متر طول ، ويمر بها ٣٥ ملي

أمبير .

المصابيح ذات الضوء الأحمر بقطر ٢٢ م - ٣٥٠ فلت لكل متر طول ، ويمر بها ٥٠ ملي

أمبير .

### ٣ - المصابيح الفلورسنتية بجهد عال وضغط جوى منخفض :

وهي أحد أنواع المصابيح الفلورسنتية ذات الجهد العالي التي تعمل تحت ضغط جوى منخفض.

وهي تشبه إلى حد كبير أنواع المصابيح النيون ذات الضوء الأزرق التي تنتج كمية كبيرة جدا من الأشعة فوق البنفسجية غير المرئية . فإذا طليت جدران أنابيب هذه المصابيح من الداخل بمادة فلورية ، فإنها تتوهج بدرجة كبيرة عندما تصطدم بها هذه الأشعة فوق البنفسجية . ويتوقف فلون الإضاءة المنبعثة من هذه المصابيح أيضا على نوع الزجاج ومادة الفلور المستخدمة في طلائها .

وتمتاز هذه المصابيح بكفاءة ضوئية أكثر بكثير من الكفاءة الضوئية للمصابيح ذات الضوء الأزرق .

وتعمل هذه المصابيح على نظم الجهد العالي ( في حدود ٦ ك.ف ) ، ولذلك يستخدم معها محولات لها ملفات ثانوية بجهد عال . وتستخدم هذه المصابيح في الإعلانات المضيئة وفي الأغراض العامة .

### ٤ - مصابيح الصوديوم ( بجهد منخفض وضغط جوى منخفض ) :

إذا أضيف إلى المصابيح المملوءة بغاز النيون بعض آثار من الصوديوم الذي يتبخر عندما يسخن المصباح ، فإننا نحصل على مصباح الصوديوم الذي ينبعث منه ضوء له شدة ضوئية عالية . ومن خصائص هذا المصباح أنه يعمل بعد تشغيل دائرته بمدة تراوح بين ٨ ، ١٠ دقائق ، وأن لون الضوء المنبعث منه هو اللون الأصفر الذي ترتاح إليه العين وتتضح به تفاصيل الأشياء ، بالرغم من أنه يسبغ على الأجسام في الغالب ألوانا قاتمة ، أو ألوانا صفراء . ويتميز الضوء المنبعث من هذه المصابيح بقدرته على اختراق الأبخرة والضباب ، مما يجعل استخدامه في إنارة الطرق والموانئ المعرضة للضباب والأبخرة أمرا ضروريا لمنع الحوادث والارتباكات التي قد تحدث نتيجة لاستعمال إضاءة عادية في مثل هذه الظروف .



## ٥ - مصابيح بخار الزئبق ( بمجهود عال وضغط جوى عال ) :

تعطى مصابيح بخار الزئبق ضوءاً له لون مقبول عن الضوء الذى تعطيه مصابيح الصوديوم . وعند ارتفاع الضغط داخل أنبوبة المصباح إلى حوالى ١٠ ضغط جوى ، فإن الكفاءة الضوئية للمصباح تصل إلى أعلى قيمة لها .

### كيفية تشغيل المصباح :

عند مرور التيار الكهربائى خلال الزئبق فإنه يتبخر ويحدث بالمصباح قوس كهربائى فى جو من بخار الزئبق يزدى إلى إنتاج أشعة فوق البنفسجية عند أقطاب المصباح . وتحاط أقطاب المصباح الزئبق عادة بأنابيب من الزجاج من نوع معين لتظل درجة حرارة الأقطاب ثابتة ، ولكى تمنع الإشعاعات فوق البنفسجية الضارة من الانبعاث للخارج .

وتستخدم الإضاءة الزئبقية الآن فى بعض المصانع للأعمال التى تستلزم رؤية تفاصيل الأشياء الدقيقة ، كما تستخدم فى الأماكن التى يوجد بها أتربة أو أبخرة تحجب الرؤية مثل مصانع الأسمنت ومصانع الغزل والمسابك .. إلخ .

## ٦ - المصابيح الزئبقية الفلورسنتية :

يعتبر هذا المصباح أحد أنواع مصابيح الزئبق المدلة، وفيه تغطى جدران المصباح الزئبق بمادة الفلور ، مما يساعد الإشعاعات فوق البنفسجية المنبعثة بكثرة من بخار الزئبق إلى الاصطدام بمادة الفلور ، فينتج عن ذلك توهج عال وضوء ذو كفاءة عالية جداً ، ويتميز هذا الضوء باللون الأبيض المصفر وتشوبه آثار لون أخضر . وتستخدم هذه المصابيح لإنارة الأماكن الشاسعة المساحة والطرق الطويلة وملاعب الكرة ، إلخ .

## (٧٥) هندسة الإضاءة :

تبنى الأسس العلمية للهندسة الضوئية على عدد من التعريفات والاصطلاحات مثل : شدة الإضاءة - والتدفق الضوئى - وكية الضوء - والكفاءة الضوئية - والشدة الضوئية - والكثافة الضوئية ، التى يمكن التعبير عنها بالوحدات المعترف بها ، والتى يمكن أن نجدها فى الكتب المتخصصة فى الهندسة الضوئية . وتهم هندسة الإضاءة بوصف الطرق المناسبة لاختيار الضوء المناسب للمكان المناسب ، والذى يعطى الراحة التامة ، والكفاءة الضوئية اللازمة ، بحيث لا يسبب للأفراد أى إزعاج نتيجة لزيادة أو قلة الإضاءة . لذلك يفضل استخدام المهندسين المتخصصين فى عمليات الإضاءة للقيام بتصميم وتخطيط الإضاءة اللازمة للمصانع والمنشآت المختلفة ، أو للقيام بتصميم إضاءة أماكن العمل ، والطرق ، والشوارع ، والملاعب ، والمخازن، وغير ذلك ، لضمان ملائمة إضاءة المكان لطبيعة العمل وللأفراد القائمين ، وللحصول على الإضاءة المناسبة بأقل التكاليف .



## منحنى توزيع شدة الإضاءة :

من المعروف أن المصباح العادى المعلق فى السقف لا يعطى ضوءاً له اتجاه محدد . لذلك تستخدم وسائل تثبيت المصابيح المختلفة لتفى بعدة أغراض سذكراها فيما بعد . ومن أهم الأساليب المتبعة فى قياس كفاءة أى وسيلة من وسائل تثبيت المصابيح استخدام منحنى توزيع شدة الإضاءة .

وينقسم منحنى توزيع شدة الإضاءة إلى جزئين : الجزء العلوى ، والجزء السفلى . ويحدد الجزء العلوى شدة الإضاءة فى الجزء من الحجرة الذى يعلو المصباح ، أما الجزء السفلى فيحدد شدة إضاءة الجزء من الحجرة الواقع أسفل المصباح . ومن هنا نشأت أهمية استخدام وسائل تثبيت المصابيح .

## (٧٦) وسائل تثبيت المصابيح :

تستخدم وسائل تثبيت المصابيح فى الأغراض الآتية :

- ١ - التأثير على اتجاه وتوزيع الإضاءة الصادرة من المصباح ، أى التحكم فى منحنى توزيع شدة الإضاءة بحيث ين بالعرض الذى استخدم المصباح من أجله .
- ٢ - تسهيل عملية تركيب المصباح والسلك وملحقاته بطريقة مقبولة .
- ٣ - حماية المصباح من المؤثرات الخارجية التى قد يتعرض لها .
- ٤ - منع الأتربة والأقذار من التعلق بالمصباح مباشرة .
- ٥ - حماية العين من تركيز شدة الإضاءة عليها نتيجة لعدم توزيع الضوء توزيعاً مريحاً .

## تقسيم وسائل تثبيت المصابيح :

من الممكن تقسيم وسائل تثبيت المصابيح إلى مجموعات تبعاً للأغراض الآتية :

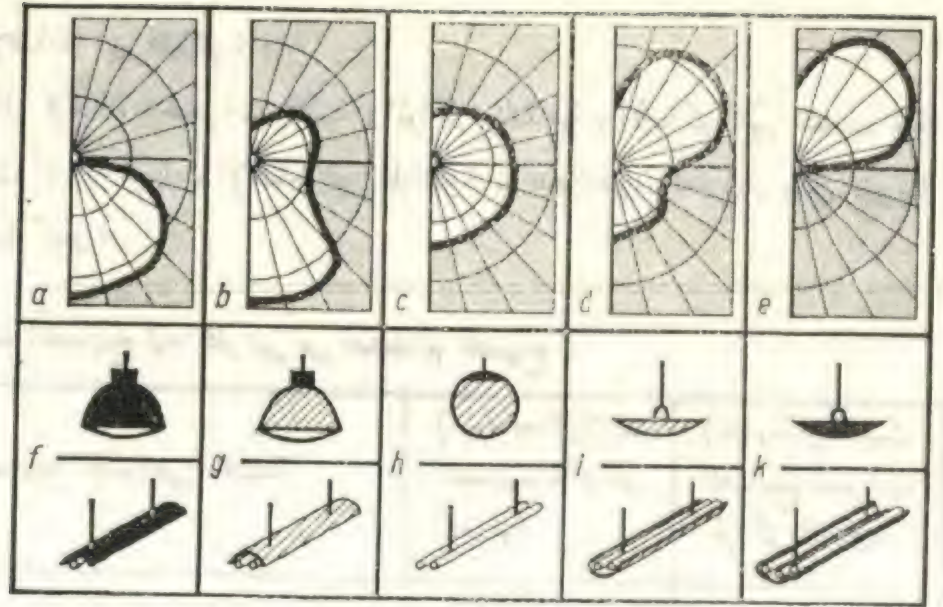
- ١ - منحنى توزيع شدة الإضاءة .
- ٢ - الغرض من استخدام المصباح .
- ٣ - ثبوتها فى مكانها أو قابليتها للحريك .

## ١ - تقسيم وسائل تثبيت المصابيح تبعاً لمنحنى توزيع شدة الإضاءة :

يبين الجدول التالى مع الشكل رقم (١٩٠) توضيحاً عملياً لمميزات وخصائص هذا التقسيم وكيفية الاستفادة من منحنى توزيع شدة الإضاءة لاختيار أنسب وسائل التثبيت ، حيث أن كل نوع من أنواع توزيع الإضاءة تقابله وسيلة التثبيت التى تناسبه ، كما يفيد منحنى التوزيع فى الحصول على شدة الإضاءة المطلوبة أسفل المصباح أو أعلاه أو كليهما تبعاً للمواصفات المطلوبة .



شدة الإضاءة	رسم ١٩٠ أ	رسم ١٩٠ ب	رسم ١٩٠ ج	رسم ١٩٠ د	رسم ١٩٠ هـ
نسبة تدفق الإضاءة في الجزء العلوى من المصباح . نسبة تدفق الإضاءة في الجزء السفلى من المصباح . نوع وسيلة التثبيت	صفر - ١٠ ٩٠ - ١٠٠٪	١٠ - ٤٠٪ ٦٠ - ٩٠٪	٤٠ - ٦٠٪ ٤٠ - ٦٠٪	٦٠ - ٩٠٪ ١٠ - ٤٠٪	٩٠ - ١٠٠٪ صفر - ١٠٪ وسيلة تثبيت إضافية وسيلة تثبيت إضافية غير مباشرة وسيلة تثبيت إضافية غير مباشرة
رقم رسم وسيلة التثبيت المقابلة	شكل ١٩٠ ح	شكل ١٩٠ ك	شكل ١٩٠ ل	شكل ١٩٠ م	شكل ١٩٠ ن
خصائص الإشعاع الناتج	وسيلة تثبيت تسمح للضوء بالانتشار في حدود زاوية ضيقة.	وسيلة تثبيت تسمح للضوء بالانتشار في زاوية أكبر .	وسيلة تثبيت تسمح للضوء بالانتشار إلى أسفل وإلى أعلى بالتساوى .	وسيلة تثبيت تسمح للضوء بالانتشار إلى أعلى أكثر منه إلى أسفل	وسيلة تثبيت تسمح للضوء بالانتشار إلى أعلى فقط .



الشكل (١٩٠) انظر الجدول من أ - ي

ومن هذا الجدول يمكن اختيار وسيلة التثبيت المناسبة لنوع العمل والمكان المطلوب إضاءته .  
وفيما يلي وصف عام لوسائل التثبيت المختلفة المذكورة في الجدول السابق .

#### وسائل تثبيت بإضاءة مباشرة :

تستخدم هذه الوسائل في الورش ، وخاصة تلك التي لها أسقف عالية . وتسمح هذه الوسائل عادة للضوء بالانتشار في زوايا ضيقة لتركيز الضوء على الأماكن المطلوب إضاءتها ، كما تستخدم لإضاءة الأماكن التي تحتاج إلى إضاءة مباشرة وخاصة تلك التي يتم فيها تجميع الأجزاء الدقيقة ، حيث أن الإضاءة غير المباشرة لا تصلح لمثل هذه الأماكن . وتستخدم أيضا في إضاءة المخازن والأماكن المكشوفة وفي إنارة واجهات المحلات .

#### وسائل تثبيت بإضاءة شبه مباشرة :

تستخدم هذه الوسائل في إنارة الحجرات والمكاتب ، وفي إنارة الورش ذات السقف المنخفضة ، وخاصة تلك التي لا تستدعي تجنب الظلال .

#### وسائل تثبيت المصابيح للإضاءة المنتظمة :

تستخدم هذه الوسائل لإضاءة المكاتب والورش ذات السقف العادي ، والتي طليت جدرانها وسقفها بألوان زاهية ، مما يتطلب الإضاءة المنتظمة مع تجنب الظلال الكثيرة ، علما بأن كفاءتها الضوئية متوسطة .

#### وسائل تثبيت المصابيح للإضاءة غير المباشرة تقريبا :

تستخدم هذه الوسائل لإضاءة المكاتب ، وفي الأماكن العامة التي لا تؤثر الظلال في درجة وضوحها ، وفي الأماكن التي تتطلب إضاءة منتظمة أيضا ، مثل الاستراحات والمراكز الثقافية علما بأن كفاءتها الضوئية عالية .



## وسائل تثبيت المصابيح للإضاءة غير المباشرة :

تستخدم هذه الوسائل لإضاءة الحجرات الطبية والمراكز الثقافية والأماكن التي تتطلب قلة الظلال أو انعدامها ، حيث أن من مميزات الإضاءة غير المباشرة ، عدم تكون الظلال . ومن عيوبها قلة كفاءتها الضوئية بدرجة كبيرة .

## ٢ - تصنيف وسائل تثبيت المصابيح تبعاً للفرض من استخدام المصباح :

(ج) وسائل تثبيت المصابيح لحجرات المراكز الثقافية	(ب) وسائل تثبيت المصابيح للأغراض المنزلية	(١) وسائل تثبيت المصابيح للأغراض المختلفة
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- وسائل تثبيت المصابيح لأغراض الإنارة العامة للحجرات التي يتم فيها تشغيل المنتجات .</li> <li>- وسائل تثبيت المصابيح لإنارة مكان معين في الحجرات التي يتم فيها تشغيل المنتجات .</li> <li>- وسائل تثبيت المصابيح في الحجرات التي قد تتعرض لأخطار معينة مثل الانفجارات أو الغازات .</li> <li>- وسائل تثبيت المصابيح المستخدمة في التصوير وفي أغراض الزينة .</li> <li>- وسائل تثبيت مصابيح السيارات والقطارات .</li> </ul>

## ٣ - تصنيف وسائل تثبيت المصابيح تبعاً لقابليتها للتحريك أو ثباتها في مكانها :

وسائل تثبيت ساكنة أو ثابتة في مكانها	وسائل تثبيت قابلة للتحريك
<ul style="list-style-type: none"> <li>- وسائل تثبيت المصابيح في السقف .</li> <li>- وسائل تثبيت المصابيح في الحائط .</li> <li>- وسائل تثبيت المصابيح في الأرض .</li> <li>- وسائل تثبيت المصابيح داخل المباني</li> <li>- وسائل تثبيت المصابيح تستخدم بحيث يمكن توصيلها بوسائل تثبيت أخرى .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- وسائل تثبيت مزودة بتجهيزات لإحكام وضع وسائل تثبيت المصابيح في مكانها .</li> <li>- وسائل تثبيت بدون تجهيزات لإحكام وضع وسائل تثبيت المصابيح في مكانها وتنقسم إلى :</li> <li>- (١) وسائل تثبيت نقالي</li> <li>- (ب) حوامل لوسائل التثبيت يمكن نقلها في أي مكان يدوياً أو بالقدم .</li> </ul>

ويجب عند اختيار أنسب وسائل التثبيت التي تلائم الفرض المطلوبة من أجله الإضاءة أن توضع جميع الخصائص والمميزات التي سبق ذكرها في الاعتبار .



## الباب التاسع

### أجهزة تحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة حرارية

(٧٧) عام :

يمكن الحصول على طاقة حرارية من الطاقة الكهربائية باستخدام أجهزة ووسائل مختلفة كالآتي :

١ - باستخدام مقاومات مصنوعة من مواد ذات مقاومة عالية ، تنبعث منها حرارة عالية بمجرد مرور التيار الكهربائي فيها ، وتتناسب درجة الحرارة الناتجة تناسباً طردياً مع مربع شدة التيار المار والمقاومة النوعية للسلك المستخدم وطوله ، وتتناسب تناسباً عكسياً مع مساحة مقطع السلك . وقد سبق ذكر ذلك في الجزء الأول من الكتاب . ويبين الشكل (١٩١) عنصر مقاومة لمسخن إشعاعي .

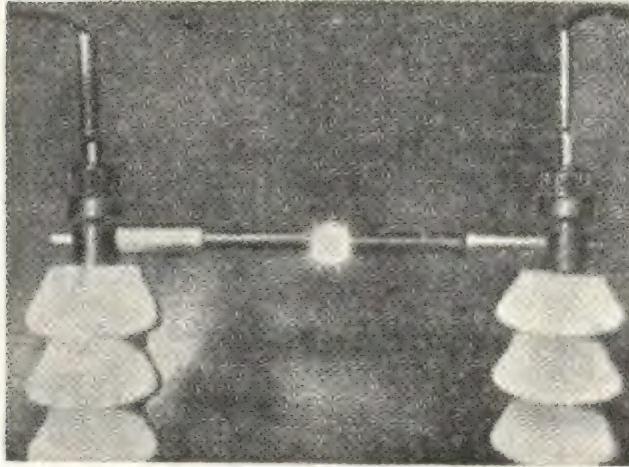
٢ - باستخدام القوس الكهربائي : وذلك بإمرار تيار كهربائي بين قطبي كربون بجهد مقداره حوالي ٥٥ فلت . ثم يفصل القطبان عن بعضهما البعض لمسافة مناسبة ، وبذلك يمكن الحصول على درجة حرارة تتراوح بين ٣٥٠٠ إلى ٤٠٠٠°م. وتتناسب درجة الحرارة مع شدة التيار المار بين قطبين ( ويتراوح بين ١٠ ، ٢٠٠ أمبير ) ، تبعاً لدرجة الحرارة المطلوبة كما في الشكل (١٩٢) .

٣ - باستخدام الطرق الحثية، وذلك بتطبيق نظرية المحول . أي باستخدام محول ذي قدرة كبيرة تغذي ملفاته الابتدائية من شبكة التغذية وتقتصر دائرة ملفاته الثانوية ، فيمر بها تيار ثانوي ذو شدة عالية ، يؤدي إلى توليد طاقة حرارية كبيرة . ويستخدم لهذا الغرض محول عدد لفات ملفاته الثانوية صغير ، وتكون عادة على هيئة وعاء توضع بداخله المواد أو الحامات المراد إذابتها أو صهرها أو تسخينها . ويبين شكل (١٩٣) الأساس الذي تنبني عليه نظرية المحول الحثي .

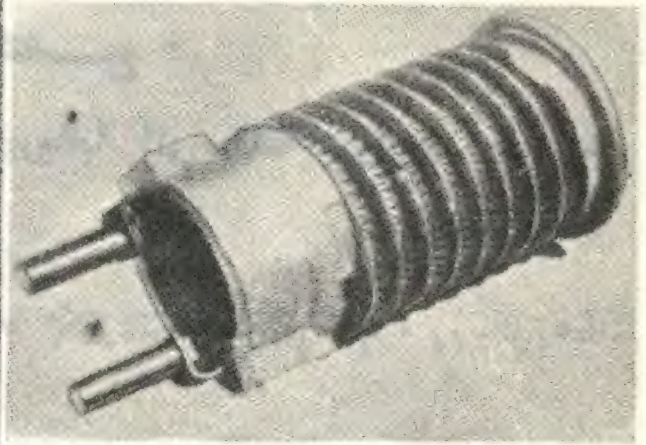
٤ - بامتصاص الطاقة الإشعاعية . وتعتمد هذه الوسيلة على تحويل الموجات تحت الحمراء غير المرئية ، والتي يتراوح طولها بين ٨٠٠ مم و ١ مم ، إلى حرارة في الأجسام المعرضة لهذه الإشعاعات . ويستخدم الهواء عادة كحامل للموجات الإشعاعية بين الجسم المشع والجسم المعرض لهذه الإشعاعات ( الجسم المطلوب تسخينه ) . ويبين شكل (١٩٤) أنواع الإشعاعات التي تنحصر



بين الموجات التي يتراوح طولها بين ٤٠٠ مم و ١ م ، وأنواع الإشعاعات التي تنحصر بين الموجات التي يتراوح طولها بين ٤٠٠ مم ، ٨٠٠ مم



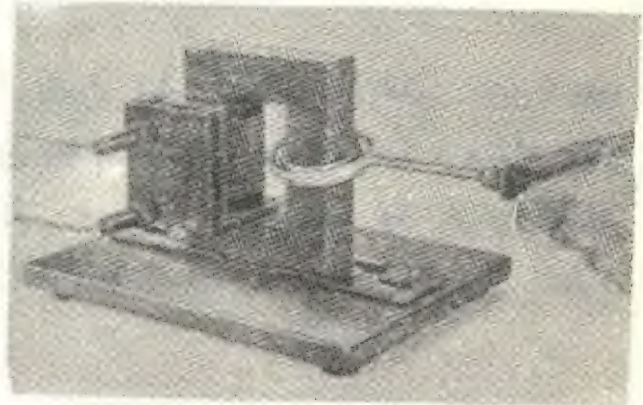
الشكل (١٩٢) قوس كهربائي ناتج من الكترودين على هيئة قضيبين بينهما ثغرة هوائية



الشكل (١٩١) عنصر تسخين عبارة عن مقاومة تشع منها الحرارة



الشكل (١٩٤) طول الموجات الذي يقع داخل حدود مدى الإشعاع تحت الأحمر  
١ - الإشعاع فوق البنفسجي .  
٢ - الإشعاع المرئي .  
٣ - الموجات القصيرة للإشعاع تحت الأحمر  
٤ - الموجات الطويلة للإشعاع تحت الأحمر .



الشكل (١٩٣) أساس عمل المحول الحثي المستخدم في التسخين

(٧٨) المعدات المستخدمة في تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية :

سنناول بالشرح في هذا المجال المعدات المستخدمة في الأغراض المنزلية وبعض المعدات المستخدمة في الصناعة والزراعة . وتعمل هذه المعدات عادة على الجهود المنخفضة العادية مثل ١١٠ فلت ، ٢٢٠ فلت .

وفما يلي قائمة ببعض معدات التسخين المستخدمة في الأغراض المنزلية :



نوع المعدات	متوسط قدرة الدخل
أفران تسخين كهربائية أفران للطهي دفايات كهربائية أفران خبز سخانات مغمورة صغيرة سخانات لخزانات المياه الساخنة المكاوى الكهربائية	٦٥ وات . حتى ١,٥ ك . وات . من ٠,٥ إلى ١,٥ ك . وات . من ١ إلى ٣ ك . وات . من ٣٠٠ إلى ١٠٠٠ وات ٠,٥ - ٦ ك . وات . ٣٠٠ - ٦٠٠ وات .

### سخانات المياه المنزلية :

من المعروف أن السخانات الكبيرة المستخدمة في تدفئة الحجرات المنزلية وفي تسخين خزانات المياه ، يتم تشغيلها ليلا في ساعات الحمل الأدنى ، حتى يكون سعر استهلاك الكهرباء أقل ما يمكن . وبين شكل (١٩٥) أحد أنواع السخانات المستخدمة في خزانات المياه . ويتكون الخزان من مبنى من الطوب الحجري مملوء بالماء ، وبه مواسير بداخلها المقومات المستخدمة في التسخين والتي يتم تشغيلها ليلا . أما أثناء النهار فترفع أغطية هذه السخانات وتخرج منها الأبخرة لتبعث الدفء في الفراغ المحيط بها . أو تدفع المياه الساخنة في مواسير الحجرات المختلفة أثناء الليل أو النهار لتدفئتها . وتستخدم في هذه الخزانات أنواع مختلفة من وسائل التحكم الكهربائية ، مثل الساعات الزمنية لتحديد ساعات تشغيل هذه المعدات ، كما تستخدم بها مبيّنات درجات الحرارة . وأجهزة القطع والوصل ، لتحديد درجة الحرارة المطلوبة ، وأوقات تشغيل هذه المعدات . وفيما يلي بيان بالأبعاد التقريبية لخزانات المياه الكهربائية المستخدمة في تدفئة الحجرات ، وكذلك قدرة الدخل اللازمة لكل منها .

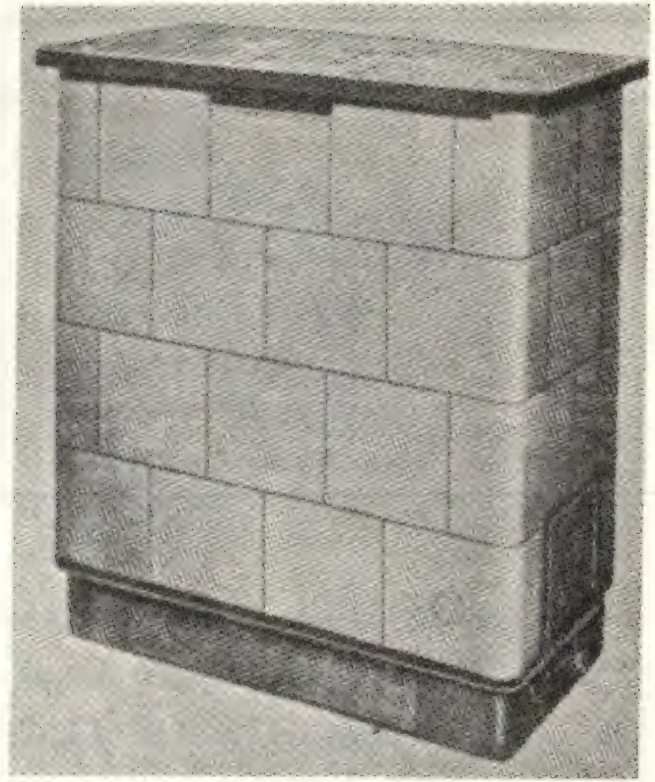
وتحتاج خزانات المياه الكهربائية المستخدمة في التدفئة والتي يتراوح حجمها بين ٣م<sup>١٠</sup> ، ٣م<sup>٥٠</sup> إلى حوالي ٨٠ وات لكل متر مكعب . أما الخزانات التي يتراوح حجمها بين ٣م<sup>٥٠</sup> ، ٣م<sup>١٠٠</sup> فتحتاج إلى حوالي ٦٠ وات لكل متر مكعب . وتحتاج الخزانات التي يتراوح حجمها بين ٣م<sup>١٠٠</sup> ، ٣م<sup>١٥٠</sup> إلى حوالي ٤٠ وات لكل متر مكعب .

يستخدم سخان المياه المبين في الشكل (١٩٦) وهو بقدرة دخل ٤ ك وات ، في تدفئة حجرة أبعادها ٣م × ٤م × ٤م لتصل درجة حرارتها إلى ٥٢°م . ومن الممكن تحديد درجة الحرارة باستخدام مبيّنات درجة الحرارة المزودة بأجهزة صغيرة للقطع والوصل والتحكم في الكهرباء بحيث تظل درجة الحرارة في نطاق حدود معينة .

وفي نظام التغذية المغلق يدخل الماء البارد عن طريق صمام خاص إلى وعاء السخان الكهربائي حيث يتم تسخين المياه . ثم يسمح للماء الساخن بالمرور إلى مواسير التدفئة عن طريق صمام آخر . ثم تعود المياه بعد ذلك إلى السخان عن طريق الصمام الأول ، وهكذا .



الشكل (١٩٥) خزانات المياه الساخنة .

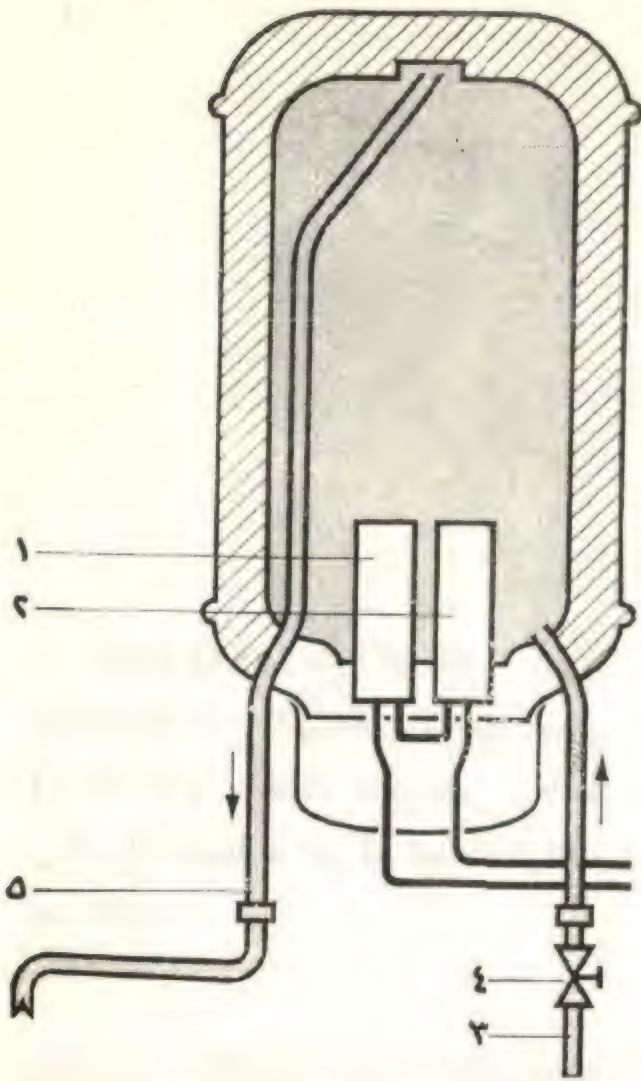


بيان بقدرة بعض معدات الاستخدام المنزلية للتدفئة أو للتسخين، وبعض المعدات المستخدمة في الأغراض الصناعية والزراعية .

نوع المعدات	متوسط قدرة الدخل
سخانات لخزانات المياه الساخنة مشع مضى فرن بالقوس الكهربائي ( ٣٥ طن ) فرن حثي (بمحول مقصر الدائرة الثانوية) . فرن حراري بمقاومات معدات اللحام بالمقاومة	٥,٤ ك. و. ١٢٥ وات ، ٢٥٠ وات ، ٥٠٠ وات ١٢,٠٠٠ ك. ف. أ. ١٢٠ ك. ف. أ. ( ٥٠ ذ/ث ) ١٠٨ ك. ف. أ. ( يعطي حرارة ١٣٥٠ م° ) ١ ك. وات - ٣٠ ك. وات .

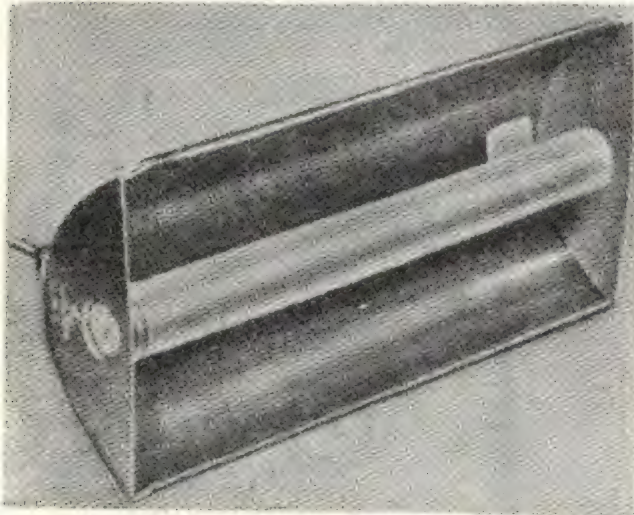
وتبين الأشكال من ( ١٩٧ - ٢٠١ ) بعض المعدات المستخدمة في المجالات الصناعية والزراعية للتسخين والتدفئة .



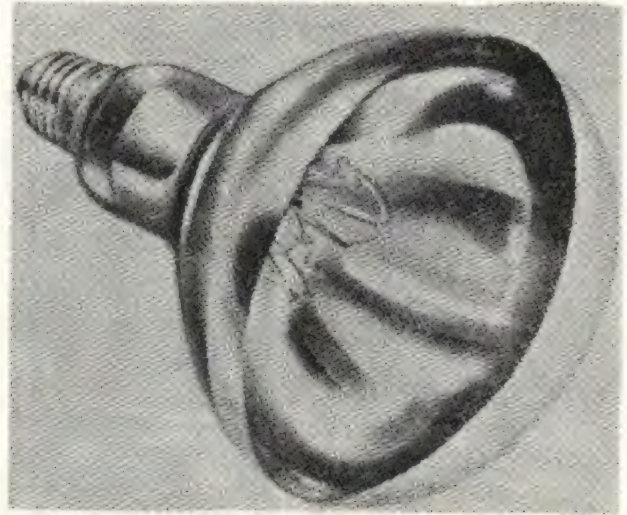


الشكل (١٩٦) رسم لمقطع في سخان كهربائي للمياه بنظام التدفق المستمر .

- ١ - عنصر تسخين
- ٢ - جهاز تحكم في درجة الحرارة
- ٣ - مواسير دخول الماء البارد .
- ٤ - صمام قفل الماء .
- ٥ - ماسورة تدفق الماء الزائد وخروج الماء الساخن .

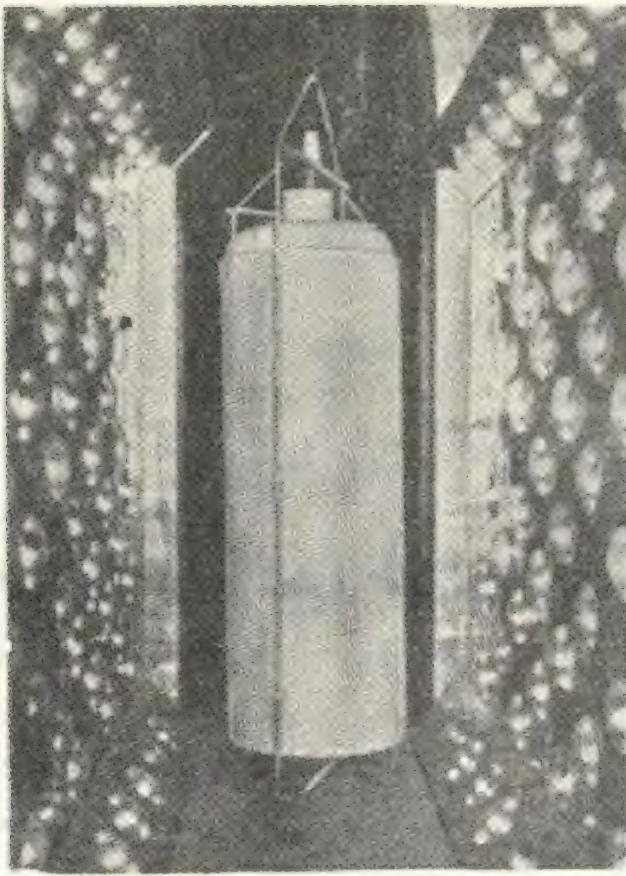


الشكل (١٩٨) المشع المظلم  
يمكن أن يتعرض هذا المشع لإجهادات ميكانيكية عالية. وتصل درجة حرارته إلى  $٥٠٠^{\circ}\text{C}$ . ويستخدم في الحالات التي لا يلزم فيها وجود إضاءة مطلقاً بجانب عملية التسخين. ويستخدم في دور السينما، وفي معامل التصوير ومصانع التجفيف .



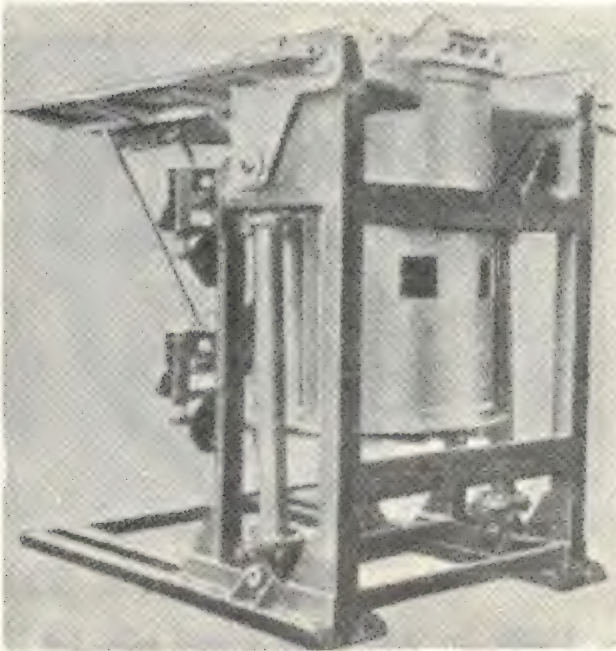
الشكل (١٩٧) مشع مضئ  
في هذا المشع تتحول حوالي ٢٪ من القدرة الداخلة للمشح إلى ضوء مرئي عند درجة حرارة  $١٥٠٠^{\circ}\text{C}$ . ويستخدم المشع المضئ عندما تلزم عمليات الإضاءة والتسخين معاً في نفس الوقت . وتستخدم مثل هذه المشعات المضئية في حظائر تربية الحيوانات .





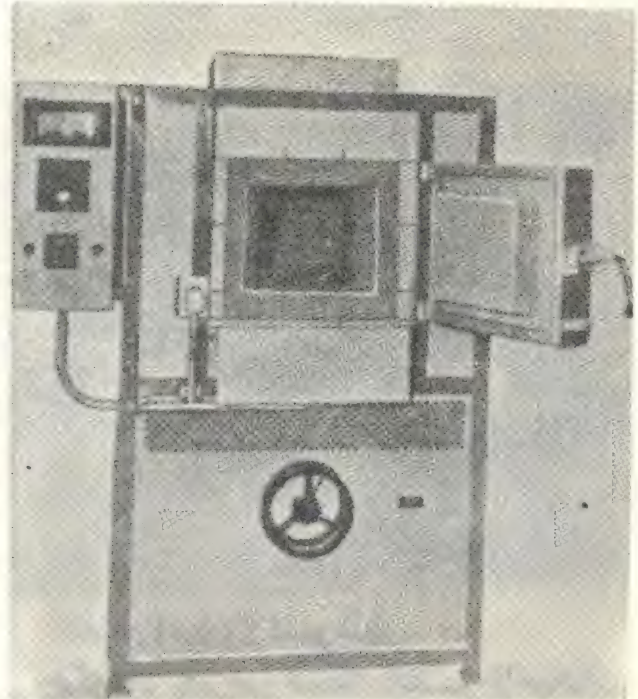
الشكل (١٩٩) مشع كهربائي

يستخدم هذا المشع الذي يعمل بالإشعاع الضوئي في عملية تجفيف الطلاء والورنيش وخاصة في الأفران المستطيلة التي تمر فيها المشغولات بعد طلاؤها .



الشكل (٢٠١) الأفران الحثية .

تستخدم هذه الأفران أساسا في عمليات صهر المعادن



الشكل (٢٠٠) الأفران ذات المقاومة

تستخدم الأفران التي يتم فيها التسخين بالمقاومات في المعاملات الحرارية للصلب ( عمليات التخمير والتقسية )

هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية





## نظرة عامة على هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية ( هندسة التيار الضعيف )

يطلق على هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية في بعض الأحيان اسم هندسة إرسال واستقبال الإشارات والمعلومات والبيانات بالتيار الضعيف .

ويبين شكل (٢٠٢) المراحل التي تمر بها إشارة ما ، ابتداء من نقطة إرسالها حتى نقطة استقبالها في الطرف الآخر . وتختلف أجهزة الإرسال والاستقبال وطرق الاتصال بينها باختلاف المعلومات المراد نقلها .

فقد يكون مرسل المعلومات رجلاً يتكلم في ميكروفون ، والمستقبل رجلاً آخر يتلقى هذه المعلومات بواسطة سماعة يربطها مع الميكروفون سلك موصل . وفيما يلي مثالان أحدهما لاتصال سلكي والآخر لاتصال لاسلكي :

### مثال للاتصال السلكي :

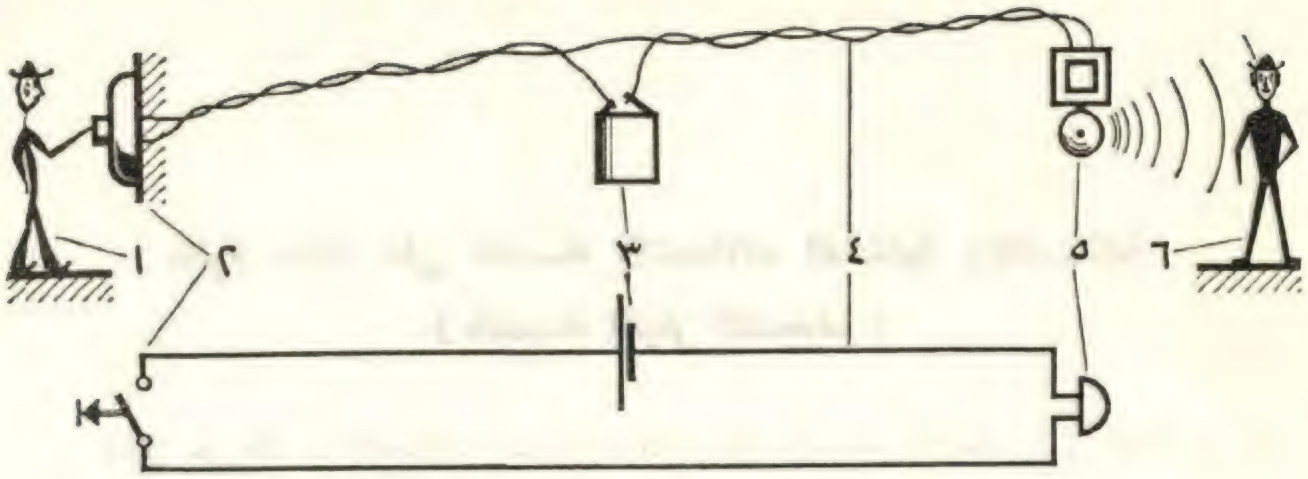
في هذا المثال مرسل الإشارة عبارة عن جهاز يبين مستوى سائل في خزان. فإذا وصل السائل في الخزان إلى مستوى معين يقوم الجهاز بتحريك ملامس عائِم موضوع عند هذا المستوى ليفلق أو يفتح دائرة إنذار ، أو يقوم بتشغيل مصباح بيان أو وسيلة رنين موضوعة في مكان آخر . ويتم التوصيل بين الملامس ووسيلة الإنذار عن طريق سلك موصل . وبذلك يمكن نقل المعلومات التي تدل على وصول السائل إلى هذا المستوى في الخزان من مكان إلى مكان آخر بالوسائل السلكية .

### مثال للاتصال اللاسلكي :

يبين الشكل (٢٠٢) كيفية نقل المعلومات بالطرق اللاسلكية، حيث ترسل التيارات ذات التردد المنخفض الصادرة من الميكروفون أو من محطة الإرسال باستخدام جهاز إرسال يولد تيارات بتردد عال لتحمل التيارات ذات التردد المسموع المراد إرسالها بطريقة التشكيل التي سيأتي ذكرها فيما بعد . وفي أجهزة الاستقبال يتم فصل التيارات ذات التردد العالي عن التيارات ذات التردد المنخفض . ثم تحول التيارات ذات التردد المنخفض إلى معلومات أو أصوات مسموعة أو صور مرئية . . . إلخ .

وقد تتعرض الإشارات والمعلومات لتغيرات كبيرة نتيجة لقلة كفاءة أجهزة الإرسال والاستقبال أو قلة كفاءة وسائل نقل المعلومات .





الشكل (٢٠٢) شكل لسلسلة معلومات بسيطة تبين المراحل التي تمر بها عملية إرسال واستقبال المعلومات .

- ١ - مصدر المعلومات ( نقطة إرسال المعلومات )
- ٢ - محول طاقة يقوم بتحويل المعلومات إلى إشارات
- ٣ - التيار الكهربائي الحامل للمعلومات ( الإشارات )
- ٤ - قناة المعلومات ( وسائل توصيل المعلومات ) .
- ٥ - محول طاقة يقوم بتحويل الإشارات إلى معلومات
- ٦ - مستقبل المعلومات

ويقتصر هذا الجزء على شرح بعض الأجهزة المستخدمة في مجال هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية ( بالتيار الضعيف ) ، مثل :

- ١ - أجهزة تحويل المعلومات الضوئية أو الصوتية أو الميكانيكية أو الحرارية إلى إشارات كهربائية ، والعكس .
  - ٢ - أجهزة إرسال الإشارات الكهربائية .
  - ٣ - أجهزة استقبال الإشارات الكهربائية وتحويلها إلى معلومات صوتية أو ضوئية ... إلخ .
  - ٤ - وسائل الاتصال بين أجهزة الإرسال وأجهزة الاستقبال مع شرح لوسائل التحكم في الإشارات وتضخيمها .
- ومن المعروف أنه يوجد العديد من الأجهزة التي تقوم بتحويل المعلومات أو التغيرات في أنواع الطاقة إلى إشارات كهربائية بتيار ضعيف ، والعكس . ويطلق على هذه الأجهزة اسم «محولات الطاقة» . وتدل كلمة محول طاقة على أنه جهاز يحول نوع من الطاقة إلى نوع آخر . وتنقسم هذه الأجهزة إلى :
- أولاً : أجهزة لتحويل المعلومات أو التغيرات الميكانيكية إلى إشارات كهربائية .
  - ثانياً : أجهزة لتحويل المعلومات أو التغيرات الحرارية إلى إشارات كهربائية .
  - ثالثاً : أجهزة لتحويل المعلومات أو التغيرات الضوئية إلى إشارات كهربائية .
  - رابعاً : أجهزة لتحويل المعلومات أو التغيرات الصوتية إلى إشارات كهربائية .
- وبنفس التصنيف السابق توجد أجهزة لتحويل الإشارات الكهربائية إلى معلومات ميكانيكية أو حرارية أو ضوئية أو صوتية .



## الباب الأول

### أجهزة تحويل المعلومات

### الميكانيكية أو الحرارية أو الصوتية أو الصوتية

### الى اشارات كهربائية

أولاً : أجهزة تحويل المعلومات الميكانيكية إلى إشارات كهربائية :

( ١ ) مفاتيح التلامس :

يوجد عدد كبير جداً من الأجهزة المستخدمة في تحويل المعلومات أو التغيرات الميكانيكية إلى إشارات كهربائية . وقد شرحنا بعض هذه الأجهزة في مجال هندسة القوى الكهربائية . ومن أمثلة الأجهزة التي تقوم بتحويل المعلومات الميكانيكية إلى إشارات كهربائية : مفاتيح التلامس ، ومعدات القطع والوصل ، ومفاتيح التحكم . . . إلخ ، ولا تختلف مفاتيح التلامس المستخدمة في هندسة التيار الضعيف عن تلك المستخدمة في هندسة القوى ، سواء في الأداء أو التصميم ، وإنما تتميز المفاتيح المستخدمة في هندسة التيار الضعيف بخفة وزنها وصغر حجمها ودقة صنعها . وتزود مفاتيح التلامس عادة بعدة ملامسات دقيقة يمكن عن طريقها تحويل التغير في أي حركة ميكانيكية لآلة أو أداة إلى قفل أو فتح هذه الملامسات . وتقوم الملامسات بدورها بتشغيل دوائر التحكم الكهربائية .

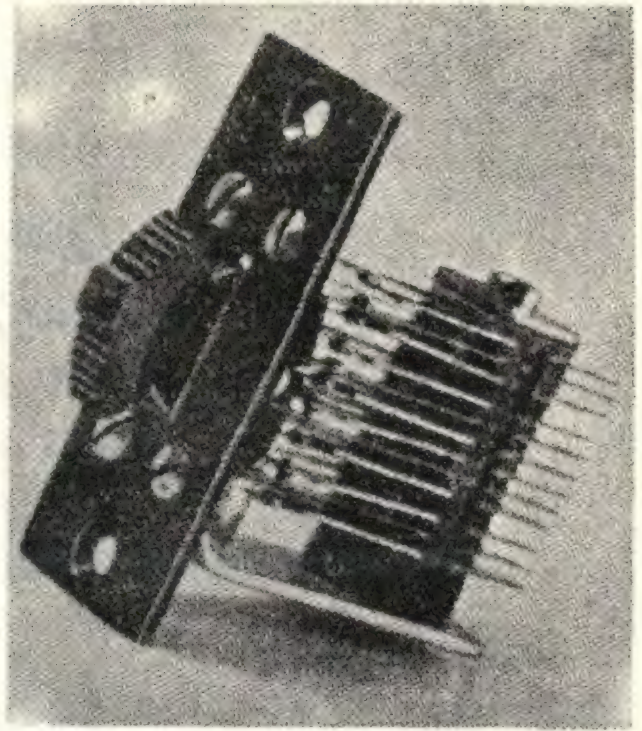
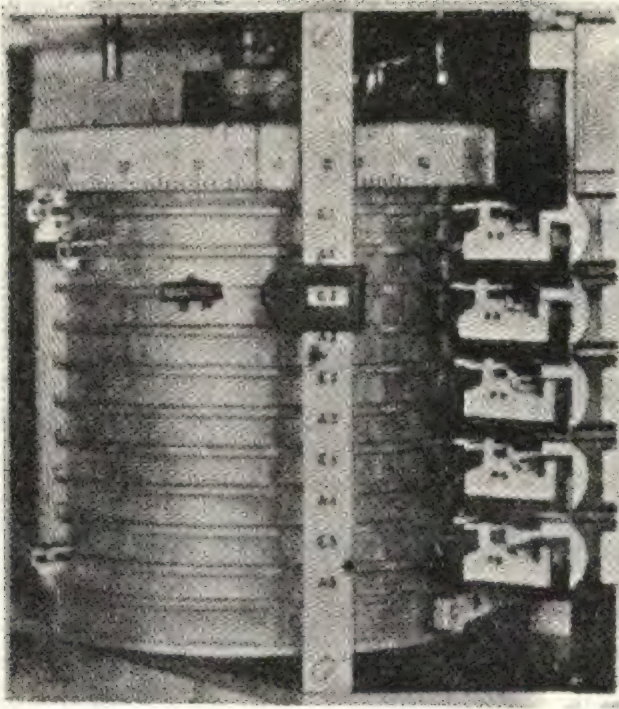
ويبين شكل (٢٠٣) أحد أنواع هذه المفاتيح . وقد أدخل على هذه المفاتيح العديد من التحسينات التي أدت إلى تصنيع المفاتيح الميكرومترية الدقيقة التي انتشر استخدامها على نطاق واسع في هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية . وتتميز هذه المفاتيح الميكرومترية بسهولة تشغيلها لوجود يايات محملة تسهل عملية قفل وفتح الملامسات وتقليل الوقت الذي تستغرقه المفاتيح في تشغيل الدوائر الكهربائية :

ومن أنواع مفاتيح التلامس :

( أ ) مفاتيح التحكم في برنامج تشغيل الماكينة :

يمكن التحكم في برنامج تشغيل الماكينة باستخدام محرك كهربائي صغير ، يقوم بإدارة قرص له شكل خاص ( كما في ) . ويعمل هذا القرص على قفل وفتح بعض ملامسات نوع من مفاتيح التلامس بترتيب معين لتتم على الماكينة عمليات إنتاج متتالية تبعاً لتسلسل سبق تحديده .

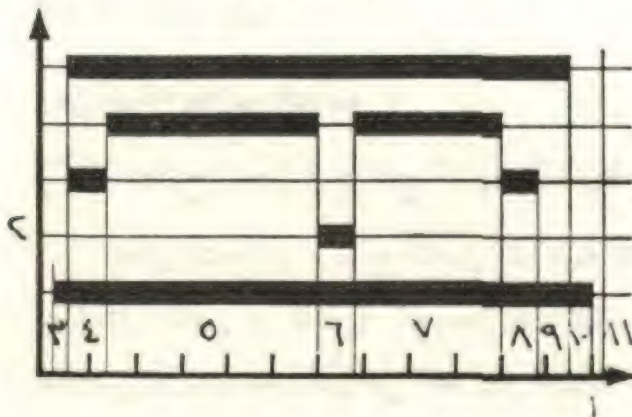




الشكل (٢٠٤) عنصر تحكم يمكن بواسطته تنفيذ برنامج لعدد من عمليات التشغيل بطريقة أوماتيكية. وهو عبارة عن مفتاح بملاسمات متعددة. ويعمل بواسطة كامرة ومحرك كهربائي صغير .

الشكل (٢٠٣) عنصر تحكم عبارة عن مفتاح بملاسمات متعددة يستخدم كمحول طاقة

- ٨ - العملية السابعة : تحريك القطعة بسرعة إلى اليمين .
- ٩ - العملية الثامنة : عملية إيقاف القطعة في أقصى اليمين .
- ١٠ - العملية التاسعة : إيقاف حركة عمود الإدارة .
- ١١ - العملية العاشرة : فك القطعة من وسيلة الإمساك بها .



- الشكل (٢٠٥) رسم تخطيطي يبين تتابع عمليات الوصل والفصل لتنفيذ برنامج معين لعدد من عمليات التشغيل على المخرطة :
- ١ - المحور الزمني ( الوقت بالدقائق ) .
  - ٢ - العملية الأولى : الإمساك بالقطعة المراد تشغيلها .
  - ٣ - العملية الثانية : تحريك القطعة إلى اليمين بسرعة .
  - ٤ - العملية الثالثة : تحريك عمود الإدارة .
  - ٥ - العملية الرابعة : حركة تغذية قلم المخرطة .
  - ٦ - العملية الخامسة : تحريك القطعة بسرعة إلى اليسار .
  - ٧ - العملية السادسة : حركة تغذية قلم المخرطة .



وبين الشكل (٢٠٤) أحد مفاتيح التلامس التي يمكن استخدامها، بحيث نحصل على تسلسل لعمليات التشغيل طبقاً للرسم البياني الموضح بالشكل (٢٠٥). وفيه يظهر لحظة ابتداء وانتهاء كل عملية، والوقت الذي ينقضي بين كل عمليتين متتاليتين.

#### (ب) مفاتيح بيان الوضع النهائي :

تستخدم مفاتيح بيان الوضع النهائي للتحكم في حركة أي آلة أو أداة. أو تحديد مستوى السوائل، أو تحديد الضغط في حيز مقفل، ومن أمثلة هذا النوع من المفاتيح :

- العوامة ذات الملامسات التي تقوم بفتح الدائرة الكهربائية للمحرك الذي يدفع المضخة إذا وصل السائل في الخزان إلى حد معين.

- مبيّنات أعلى ضغط أو أعلى درجة حرارة تعتبر أيضاً ضمن مفاتيح بيان الوضع النهائي.

- مفاتيح الوضع النهائي المستخدمة في ماكينات التشغيل والمصاعد الكهربائية المبينة بالشكل (٢٠٦).

يُضبط المفتاح في وضع معين بحيث لا يتعداه قلم المخرطة مثلاً. فإذا وصل القلم إلى هذا الوضع فإنه يقوم بتشغيل المفتاح لفتح دائرة محرك المخرطة وإيقافها. كما يستخدم أيضاً في المصاعد للتحكم في الوضع النهائي الذي يمكن أن يصل إليه المصعد. فعندما تصل كابينة المصعد إلى هذا الوضع يقوم بتشغيل المفتاح لفتح دائرة المصعد حتى لا تتعدى الكابينة هذا الوضع.

- مفتاح ضوء الإيقاف في السيارة يعتبر أيضاً مفتاحاً لبيان الوضع، حيث يعمل المفتاح عندما يتحرك بدال الفرملة. ويصل إلى وضع معين.

- المفاتيح المبينة في شكل (٢٠٧) والمستخدم في تحويل المعلومات إلى إشارات كهربائية.

وفيها تعمل الملامسات تلقائياً بواسطة مغنطيس تؤدي حركته للأمام أو للخلف إلى فتح أو قفل الملامسات. ويمتاز هذا النوع من المفاتيح بأن مشوار حركة ملامساته صغير جداً لا يتعدى ١,١ مم، والقوة اللازمة لتشغيله صغيرة.

#### ثانياً : أجهزة تحويل المعلومات الحرارية إلى إشارات كهربائية :

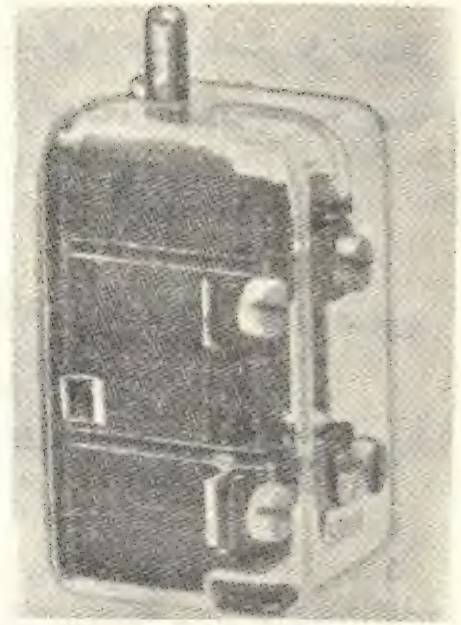
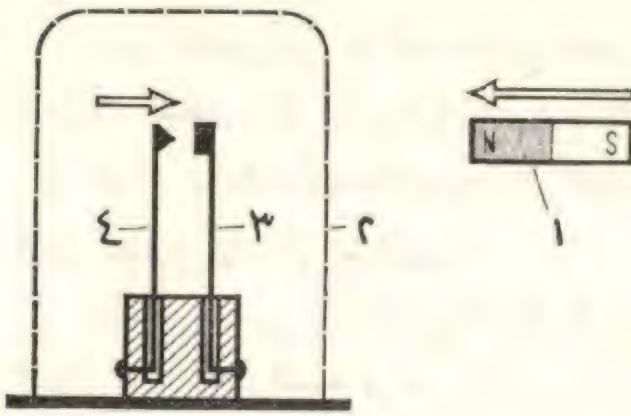
يطلق على أجهزة تحويل المعلومات الحرارية إلى إشارات كهربائية اسم «الوسائل الكهربائية الحرارية» ومن أمثلة الوسائل الكهربائية :

المزدوج الحراري - الترمومتر الزئبقي - المفتاح ثنائي المعدن - مفاتيح التحكم في الحرارة.

#### (٢) المزدوج الحراري :

يتكون المزدوج الحراري من قضيبين من معدنين مختلفين يوصل طرفاهما توصيلاً تاماً عند نقطة يطلق عليها عادة اسم «نقطة التوصل» فإذا سخّنت هذه النقطة فإنه ينشأ عبر الطرفين الآخرين للقضيبين قوة دافعة كهربائية يطلق عليها اسم «القوة الدافعة الكهربائية الحرارية». وتستخدم هذه القوة الدافعة في تحويل المعلومات الحرارية إلى جهد يتناسب في قيمته مع درجة حرارة نقطة التوصل. وبين الشكل (٢٠٨) رسماً تخطيطياً لدائرة مزدوج حراري.

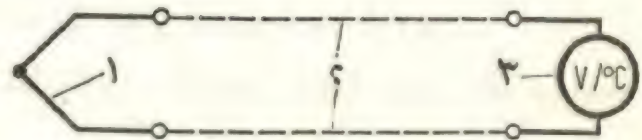




الشكل (٢٠٧) أساس عمل المفتاح المغنطيسي

- ١ - مغنطيس التشغيل .
- ٢ - غطاء واق للمصباح .
- ٣ - ملاس ثابت غير مغنطيسي
- ٤ - الملاس المغنطيسي المتحرك

الشكل (٢٠٦) مفتاح بيان الوضع النهائي



الشكل (٢٠٨) رسم تخطيطي يبين أساس عمل المزدوج الحرارى

- ١ - مزدوج حرارى
- ٢ - خطوط التوصيل ( أسلاك التوصيل )
- ٣ - وسيلة القياس المستخدمة لبيان درجات الحرارة

ومن المعروف أن هناك علاقة بين درجة حرارة نقطة التوصيل وبين الجهد المتولد ، ونوع المعادن المستخدمة في المزدوج الحرارى . وفيما يلي بعض المزدوجات الحرارية الشائعة الاستعمال ، ودرجات الحرارة القصوى التي يصلح أن تستخدم فيها ، والجهد الأقصى المتولد :

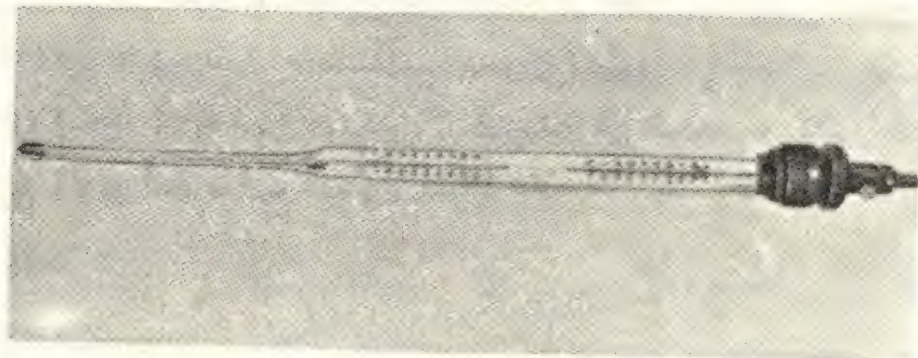
نوع المزدوج الحرارى	درجة الحرارة القصوى	الجهد الأقصى المتولد
نحاس أحمر - كونستنتان	٥٠٠	٢٨
حديد - كونستنتان	٨٠٠	٤٧
نيكل - نيكل كروم	١٢٠٠	٤٢
بلاتين - بلاتين روديوم	١٦٠٠	١٧



ومن مميزات المزدوجات الحرارية ، تحويل المعلومات الحرارية إلى إشارات كهربائية يمكن إرسالها إلى مسافة بعيدة . وتستخدم هذه المزدوجات لبيان درجات الحرارة داخل الأفران . حيث توضع بداخلها ، وينقل الجهد المتولد إلى أجهزة البيان الموجودة خارج الفرن ، فيترجم مرة أخرى إلى درجات حرارة . ولحماية المزدوجات الحرارية : ولضمان دقة قراءتها ، يفضل وضعها في أنابيب معدنية مبطنة بمواد عازلة تصمد لدرجات الحرارة المرتفعة . ولضمان عدم تغير قيمة الجهد الكهروحرارى الصغير المتولد في هذه المزدوجات ، يجب أن تتم التوصيلات الكهربائية بطريقة سليمة لا تؤدي إلى انخفاض ملموس في الجهد . ومن ثم يجب ألا تزيد مقاومة المواد المستخدمة في التوصيل بين المزدوج الحرارى وأجهزة القياس عن أوم واحد .

### ( ٣ ) الترمومتر الزئبقي ذو الملامسات :

يمكن استخدام تمدد الزئبق الموجود في الترمومتر نتيجة لارتفاع درجة الحرارة في تحويل المعلومات الحرارية إلى معلومات كهربائية . فإذا وضعت ملامسات دائرة إنذار أو أى دائرة كهربائية داخل أنبوبة الترمومتر ، عند درجة حرارة معينة ، فإن تمدد الزئبق ووصوله إلى هذه الدرجة يؤدي إلى قفل الملامسات ، وبالتالي إلى تشغيل دائرة الإنذار أو الدائرة الكهربائية . ويبين الشكل (٢٠٩) نوعاً من أنواع الترمومترات الزئبقية ذات الملامسات .



الشكل (٢٠٩) ترمومتر التلامس

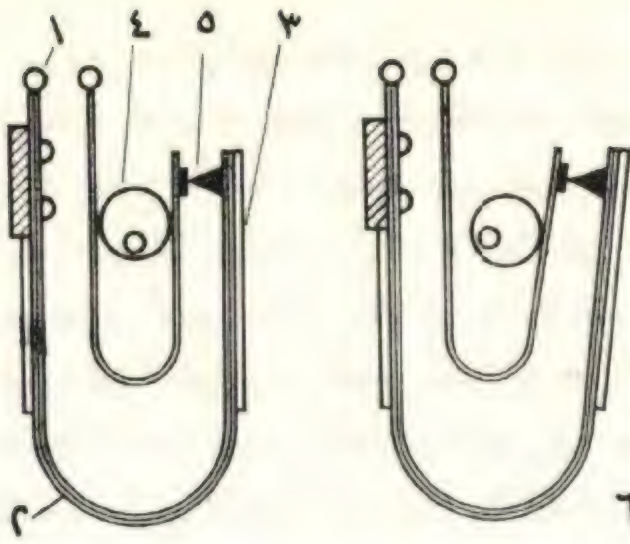
### ( ٤ ) المفتاح ثنائى المعدن :

يقوم المفتاح الثنائى المعدن بنفس العمل الذى يقوم به الترمومتر الزئبقي ذو الملامسات . إلا أنه يعمل بعد فترة زمنية معينة ابتداء من لحظة وصول درجة الحرارة إلى الدرجة المعينة التى سبق تحديدها ، أى أنه لا يعمل لحظياً .

### طريقة عمل المفتاح ثنائى المعدن :

يتكون المفتاح الثنائى المعدن من قطعتين رقيقتين من معدنين مختلفين لصقاً معاً لصقاً تاماً . وعندما يتعرض المفتاح لدرجة حرارة مرتفعة فإن القطعتين المعدنيتين تتمددان في اتجاه معين تحت تأثير الحرارة وتنفعان أمامهما قرصاً لا مركزياً . ويقوم القرص بقفل ملامسات دوائر الإشارة الكهربائية.





الشكل (٢١٠) أساس عمل المفتاح ثنائى المعدن

- ١ - نقطة التوصيل
- ٢ - زنبرك صلب على شكل حرف U
- ٣ - رقائى ثنائىة المعدن
- ٤ - قرص لا مركزى
- ٥ - ملامسات
- ٦ - مفتاح ثنائى المعدن مضبوط بحيث يعمل فى المدى بين درجتى حرارة قصوى سبق تحديدهما.

ويوضح شكل (٢١٠) فكرة عمل المفتاح ثنائى المعدن ، الذى يمكن استخدامه فى نقل المعلومات الحرارية ، وإجراء ضبط درجات الحرارة بين ٤٠° ، ٩٠° م .

#### ( ٥ ) مفاتيح التحكم فى الحرارة :

تعتبر مفاتيح التحكم فى الحرارة ، أحد الأجزاء الهامة فى أجهزة ومعدات التكييف ، وفى التلاجات والدفايات وغيرها . وتقوم هذه المفاتيح بتحويل المعلومات الخاصة بدرجة الحرارة إلى إشارات كهربائية للتحكم فى الأجهزة والمعدات الكهربائية التى تستخدم فى تشغيل التلاجات أو الدفايات . . . إلخ ، ومن أمثلة مفاتيح التحكم فى الحرارة :

( أ ) الترموستات :

( ب ) مفتاح بمعدن صهور .

( ج ) المفتاح الفرقى .

#### ( أ ) الترموستات :

يتكون الترموستات فى أبسط صوره من أسطوانة صغيرة الحجم مغطاة بإحكام بغشاء لين ، وتحتوى على سائل سهل التبخر .

فإذا ارتفعت درجة حرارة التلاجة أو جهاز التدفئة عن حد معين يبدأ السائل فى التمدد داخل الأسطوانة ويضغط على الغشاء اللين الذى يدفع أمامه ملامسات مفتاح التلامس . ويؤدى ذلك إما إلى غلق الملامسات الخاصة بدائرة محرك التلاجة لتشغيلها ، أو يؤدى إلى فتح ملامسات المقاومات الحرارية لفصل التيار عنها . وعندما تقل درجة الحرارة ينخفض الضغط داخل الأسطوانة ويعود الغشاء اللين إلى مكانه الأصل ، وبذلك تعود دوائر التحكم إلى حالتها الأصلية .



### (ب) مفتاح بمعدن صهور :

تتكون هذه المفاتيح من شرائح معدنية ملحومة معاً من أحد أطرافها بمعدن قابل للانصهار عند درجة حرارة معينة . وهذه الشرائح المعدنية واقعة تحت ضغط ميكانيكي مثل ضغط ياي مثلا . وعندما ترتفع درجة الحرارة إلى الدرجة التي ينصهر عندها المعدن الذي يلحم هذه الشرائح ، فإن الياي يدفع هذه الشرائح في اتجاهات معينة لتقوم بخلق دوائر التحكم الكهربائية لتشغيل أو إبطال الأجهزة أو المعدات الكهربائية المستخدمة في الأفران والدفايات . . . إلخ ، أى أن هذه المفاتيح تترجم درجة الحرارة إلى معلومات أو إشارات كهربائية ، أى تعمل كمحول للطاقة . ويبين الشكل (٢١١) كيفية عمل أحد هذه المفاتيح .

### (ج) المفتاح الكهربائي الفرقى :

تتميز هذه المفاتيح بأنها لا تتأثر بالارتفاع التدريجي لدرجة الحرارة المحيطة ، فهي حساسة فقط للارتفاع المفاجئ في درجة الحرارة .

ويوضح شكل (٢١٢) فكرة المفتاح الكهربائي الفرقى . ويتكون عادة من أنبوبة زجاجية على شكل حرف ( U ) ، تحتوي على زئبق وإيثانول . وتمتاز هذه الأنبوب بأن جدار أحد أذرعها أكبر تخانة من جدار الذراع الأخرى . فإذا ارتفعت درجة الحرارة المحيطة بصورة فجائية ( بمعدل سريع ) فإن الإيثانول الموجود في الذراع ذات الجدار الرقيق يتبخر قبل أن يتمدد الإيثانول الموجود في الجدار السميك ، ويضغط على الزئبق ، الذي ينفع إلى ذراع الأنبوبة السميكة ويبعد تماماً عن الملامسات ، ويؤدي ذلك إلى فتح الدائرة الكهربائية . أما إذا ارتفعت درجة الحرارة المحيطة بالمفتاح بصورة تدريجية فإن الإيثانول الموجود في كلا الذراعين يتبخر بنفس النسبة مما يؤدي إلى وجود توازن في الضغط الواقع على الزئبق في الذراعين ، فيبقى الزئبق في مكانه موصلاً بين الملامسات . لذلك يستخدم المفتاح الكهربائي الفرقى لفتح الدوائر الكهربائية عند حدوث ارتفاع مفاجئ في درجة الحرارة ، كما في حالة أجهزة الوقاية أو الإنذار ضد الحرائق .

### ثالثاً : أجهزة تحويل المعلومات الضوئية إلى إشارات كهربائية :

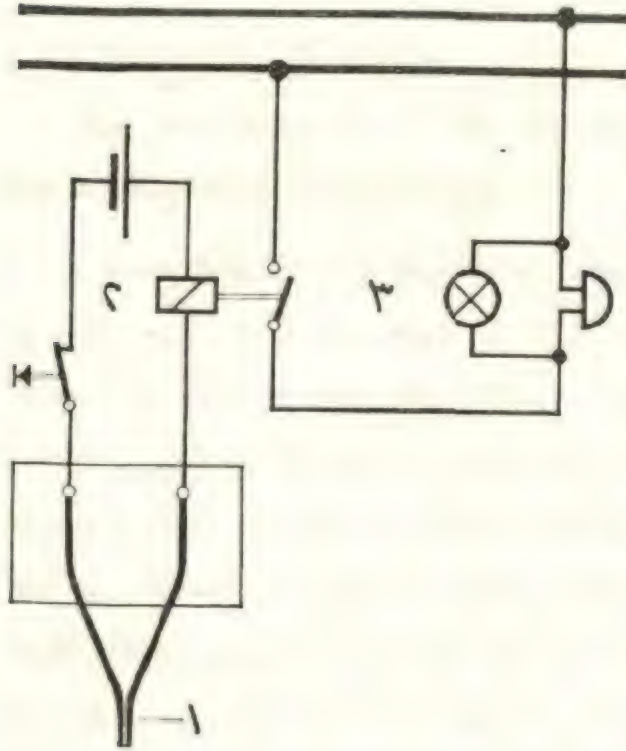
تنبئ فكرة تصميم هذه الأجهزة على أن الطاقة الضوئية يمكنها التأثير على بعض المواد ، وبالأخص الفلزات القلوية كالكالسيوم والبوتاسيوم . فإذا تعرضت هذه المواد للضوء ( وخاصة الضوء قصير الموجة ) تنبعث منها إلكترونات أو شحنات كهربائية . وتسمى هذه الظاهرة « الانبعاث الكهروضوئي » . وتنقسم المواد المستخدمة في أجهزة تحويل المعلومات الضوئية إلى إشارات كهربائية إلى نوعين :

( ١ ) مواد يؤدي سقوط الضوء عليها إلى انبعاث الإلكترونات ( الشحنات الكهربائية ) للخارج ، مثل الفلزات والأجسام الصلبة كالصوديوم والكالسيوم . . . إلخ . ويطلق



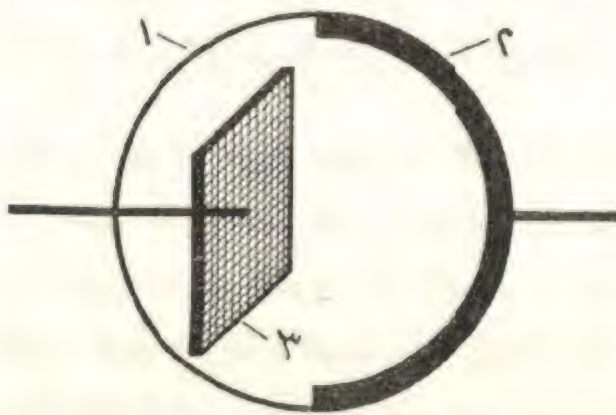
على هذه الظاهرة « الانبعاث الكهرضوئى الخارجى » . ويمكن استخدام هذه الإلكترونات فى تشغيل دوائر التحكم الكهربائية . ومن أكثر محولات الطاقة انتشاراً والتي تستخدم فيها هذه الظاهرة « الخلية الضوئية » .

(ب) مواد - مثل أشباه الموصلات - لا ينبعث منها إلكترونات للخارج عند تعرضها للضوء ، وإنما يؤدي سقوط الضوء عليها إلى تغيير حركة الإلكترونات فيها داخلياً مما يقلل المقاومة النوعية الداخلية لهذه المواد وخاصة فى اتجاه معين . ومن أمثلة هذه المواد كبريتيد الكاديوم ، وكبريتيد الرصاص ويطلق على هذه الظاهرة « الانبعاث الكهرضوئى الداخلى » . ومن أكثر محولات الطاقة انتشاراً والتي تستخدم فيها هذه الظاهرة « المقاومات الضوئية أو العناصر الكهرضوئية » .



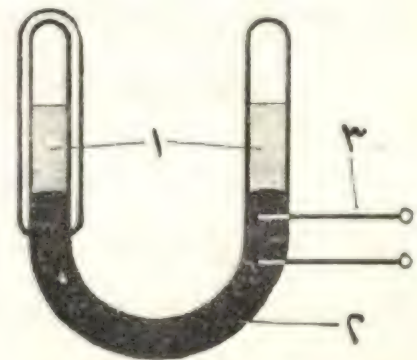
الشكل (٢١١) أساس عمل المفتاح

- ١ - مفتاح مصنوع من معدن قابل للانصهار
- ٢ - دائرة مقفلة بواسطة مرحل
- ٣ - دائرة إنذار بجرس ومصباح بيان



الشكل (٢١٣) أساس عمل الخلية الكهرضوئية

- ١ - الوعاء الزجاجى
- ٢ - الكاثود
- ٣ - الأنود



الشكل (٢١٢) أساس عمل المفتاح الفرقى

- ١ - إيثانول
- ٢ - زيتىق
- ٣ - الملامسات



## ( ٦ ) الخلية الكهروضوئية ( الانبعاث الكهروضوئي الخارجى ) :

يبين شكل (٢١٣) الفكرة التى ينبى عليها تصميم الخلية الكهروضوئية . وتتكون الخلية من كاثود وأنود موضوعين داخل انتفاخ زجاجى مفرغ ، فيها الكاثود عبارة عن سطح معدنى مغلف من الداخل بطبقة من معدن قلوى حساس للضوء ، مثل الصوديوم أو البوتاسيوم . وأما الأنود فعبارة عن لوح معدنى مثبت أمام السطح الحساس ، بحيث يلتقط أكبر عدد من الإلكترونات المنبعثة من الكاثود .

### طريقة عمل الخلية الضوئية :

عند توصيل الخلية الكهروضوئية فى دائرة كهربائية ويوصل معها على التوالى مقياس حساس لقياس شدة التيار ، يلاحظ مرور تيار إلكترونات ( تيار ضعيف ) فقط فى الفترة التى تتعرض فيها الخلية للضوء . وينوقف مقدار التيار المار على شدة الإشعاع الساقط على الخلية . ويمكن استخدام الخلايا الضوئية من هذا النوع فى فتح أو غلق الأبواب بطرق آلية كلما سقط الضوء على الخلية ، أو كلما قطع عنها ، كما تستخدم فى حماية الخزائن والبنوك من السطو عليها ، حيث تقوم بتحويل المعلومات الخاصة بانقطاع الضوء إلى إشارات كهربائية تستخدم فى تشغيل أجهزة الإنذار . كذلك فإنها تستخدم فى أجهزة الرؤية والأفلام الناطقة .

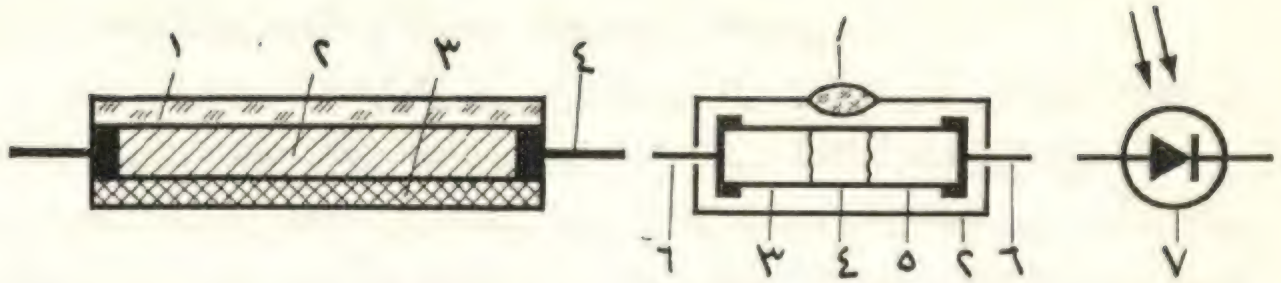
## ( ٧ ) العناصر الكهروضوئية ( الانبعاث الكهروضوئى الداخلى ) :

يبين شكل (٢١٤) الفكرة التى ينبى عليها العنصر الكهروضوئى باستخدام المواد شبه الموصلة الناتجة من تآلف السيلينيوم كادميوم . وتستخدم هذه العناصر فى أجهزة قياس وتنظيم شدة الإضاءة . وقد أدى استخدام مركبات السيليكون إلى تطوير وتعميم هذه الفكرة ، بحيث أمكن استخدام العنصر الكهروضوئى السيليكونى كصدر للتيار الضعيف المستخدم فى الأقمار الصناعية ، وفى التسجيل الضوئى للصوت على الأفلام .

وتستخدم ظاهرة الانبعاث الكهروضوئى الداخلى للمواد شبه الموصلة فى الأمن الصناعى ، وذلك لقياس كمية الموجات فوق البنفسجية المنتشرة فى الجو ، كما تستخدم فى أجهزة فرز وعد النقود . وتعتمد طريقة تشييل العناصر الكهروضوئية على اختيار مواد معينة تتغير مقاومتها النوعية عند تعرضها للضوء . حيث تتحرك الإلكترونات داخل هذه المواد فى اتجاه معين نتيجة للتأثير الكهروضوئى الداخلى .

ويبين شكل (٢١٥) كيفية مرور التيار فى طبقة من مادة كبريتيد الكادميوم أو كبريتيد الرصاص عند تعرضها للضوء . وحيث أن مقاومتها النوعية تتغير تبعاً لشدة الإضاءة الساقطة عليها ، فإن ذلك يؤدى إلى زيادة شدة التيار المار بالدائرة الموصل بها هذه المواد . أى تتناسب شدة التيار المار بها تناسباً طردياً مع شدة الإضاءة الساقطة عليها . وبذلك يمكن تحويل المعلومات الضوئية إلى إشارات كهربائية يمكن قياسها . لذلك تستخدم هذه المواد أساساً فى قياس الشدة الضوئية .





الشكل (٢١٥) شكل تخطيطي لمقاومة حساسة للضوء

- ١ - غلاف شفاف
- ٢ - طبقة من كبريتيد الكاديوم
- ٣ - الجسم الموصل ( حامل الشحنات )
- ٤ - نهايات التوصيل .

الشكل (٢١٤) أساس عمل العنصر الكهروضوئي

- ١ - عدسات محدبة
- ٢ - غلاف واق
- ٣ - بلورات طراز ( P ) الموجبة التوصيل
- ٤ - الطبقة الحاجزة ( الطبقة الفاصلة بين نوعي البلورتين )
- ٥ - بلورات طراز ( N ) السالبة التوصيل
- ٦ - نهايات التوصيل
- ٧ - رمز تخطيطي .

#### ( ٨ ) الصمامات المستخدمة في نقل الصور (الإرسال التليفزيوني) :

يمكن استخدام أنابيب الأشعة الكاثودية في عملية تحويل المعلومات الضوئية إلى إشارات كهربائية ، كما يمكن استخدامها في تحويل الإشارات الكهربائية إلى معلومات ضوئية . وقد أدخل على أنابيب الأشعة الكاثودية الكثير من التحسينات ، بحيث أمكن استخدامها في عملية الإرسال والاستقبال التليفزيوني . وأهم أنابيب الأشعة الكاثودية هو الإيكونوسكوب .

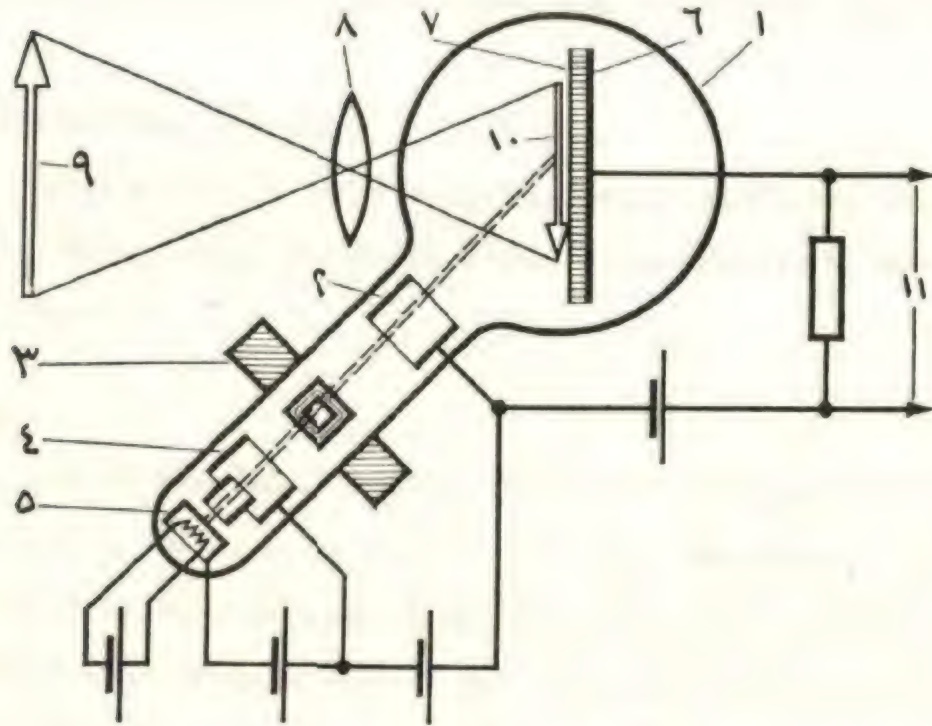
ويبين شكل (٢١٦) رسماً تخطيطياً للفكرة التي يبنى عليها تصميم الإيكونوسكوب .

#### طريقة عمل الإيكونوسكوب :

يوضع الجسم المراد نقل صورته ( ٩ ) خارج أنبوبة الإيكونوسكوب ، وتوضع بين الجسم والأنبوبة عدسات ( ٨ ) ذات كفاءة عالية ، وعند تسليط الضوء على الجسم تقوم العدسات بإسقاط صورة ضوئية مطابقة تماماً للجسم في داخل الأنبوبة على الشاشة ( ٦ ) الموجودة داخل أنبوبة الإيكونوسكوب ( ١ ) . وتسمى الشاشة في بعض الأحيان « حاجز الموزايك » . وهذه الشاشة عبارة عن مكشف يتكون من لوح من الميكا يلاصق سطحه الخلفي لوحاً معدنياً لامعاً ويوجد على سطحه الأمامي ملايين من الخلايا الضوئية الدقيقة ، التي تتكون من حبيبات السيزيوم . وكل خلية منها معزولة عن الخلايا التي تجاورها تماماً ، وتكون في الوقت نفسه مع اللوح المعدني الخلفي



مكثفاً صغيراً . وعند سقوط صورة الجسم من خلال العدسات على الشاشة ينبعث من كل خلية من هذه الخلايا العديدة عدد من الإلكترونات ، يتوقف على شدة الضوء الساقط عليها ( تبعاً لتدرج الضوء من الأسود إلى الأبيض ) . وتمر هذه الإلكترونات إلى الأنود ( ٢ ) . وبذلك يكتسب كل مكثف من ملايين المكثفات الصغيرة . شحنة كهربائية تختلف في شدتها تبعاً لشدة الإلكترونات المارة إليها . ثم يوجه إلى الشاشة شعاع إلكترونات ( من مولد مصمم لهذا الغرض ) . يخرج من الكاثود ( ٥ ) . ويتم توجيه الشعاع الإلكتروني في اتجاه معين داخل الأنبوبة بواسطة ملفات حارفة ( ٣ ) تعمل على توجيه الشعاع ، بحيث يمر على جميع الخلايا الموجودة في الصف الأفقي للشاشة ، الواحدة تلو الأخرى ، ثم يعود إلى الصف الذي يليه ، وهكذا صفّاً وراء صف وبسرعة كبيرة حتى تملأ الشاشة كلها .



الشكل (٢١٦) التصميم الأساسي للإيكونوسكوب

- |                                 |                                      |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| ١ - وعاء                        | ٧ - حاجز الموزايك ( أكسيد السيزيوم ) |
| ٢ - الأنود                      | ٨ - عدسات                            |
| ٣ - ملفات حارفة ( ملفات كاسحة ) | ٩ - الجسم المراد رؤيته               |
| ٤ - عدسات إلكترونية             | ١٠ - صورة الجسم                      |
| ٥ - الكاثود                     | ١١ - إلى وسائل التضخيم               |
| ٦ - الشاشة                      |                                      |



وبمجرد مرور الشعاع السالب الشحنة على هذه الخلايا التي أصبحت مكثفات مشحونة فإنه يقوم بتفريغها الواحدة بعد الأخرى . وينشأ عن تفريغ الشحنة في كل مكثف من هذه المكثفات تيار يتناسب في شدته مع تيار الشحن . وتأخذ تيارات التفريغ هذه طريقها إلى الجزء المعدني اللامع الموجود في الشاشة ومنه إلى صمامات التضخيم ، ثم تحمل هذه التيارات موجات ذات تردد عال لإرسالها إلى أجهزة الاستقبال .

رابعاً : أجهزة تحويل المعلومات الصوتية إلى إشارات كهربائية :  
ينبنى تصميم هذه الأجهزة على تأثير موجات الصوت على نظام كهربائي قادر على تحويل موجات الصوت هذه إلى إشارات كهربائية ، ومن أمثلتها الميكروفونات :

#### ( ٩ ) الميكروفونات :

هناك الكثير من أنواع الميكروفونات المستخدمة في تحويل الأصوات إلى إشارات كهربائية أهمها :

##### ( ١ ) ميكروفون التلامس الكربوني :

يتميز الميكروفون الكربوني بمثانة تصميمه ، ويستخدم في أجهزة التليفونات النقال . ويعاب عليه انخفاض كفاءته في تحويل المعلومات إلى إشارات . ويبين شكل ( ٢١٧ ) مقطعاً للميكروفون الكربوني وطريقة عمله .

##### طريقة عمله :

عندما ترتطم الموجات الصوتية بالنشاء ( ٤ ) فإن حبيبات الكربون ( ٢ ) تنضغط انضغاطاً يتناسب في زيادته أو انخفاضه مع هذه الموجات . وبذلك تتغير المقاومة النوعية لحبيبات الكربون تبعاً لشدة الموجة الصوتية . فإذا وصل مثل هذا الميكروفون بدائرة كهربائية ، فإنه يعتبر في هذه الحالة مقاومة متغيرة تؤدي إلى تغير شدة التيار المار في الدائرة تبعاً لزيادة أو قلة الضغط على حبيبات الكربون . وعلى ذلك ، فإن الميكروفون يقوم بتحويل المعلومات الصوتية إلى تيارات كهربائية تتناسب مع شدة الموجة الصوتية .

#### ( ٢ ) الميكروفون المكثف :

يتركب الميكروفون المكثف أساساً من مكثف ذي سعة متغيرة ، قيمتها حوالي ١٠٠ ميكروفاراد ومن لوحين رقيقين من المعدن بينهما عازل . ويكون اللوح الخلفي ثابتاً ، بينما يترك اللوح الأمامي القابل للاهتزاز حر الحركة . وعندما ترتطم الموجات الصوتية باللوح القابل للحركة فإنها تؤدي إلى تغير سعة المكثف تبعاً لشدة إيقاع هذه الموجات الصوتية . فإذا وصل مثل هذا المكثف بدائرة كهربائية فإن شدة التيار المار تتغير بتغير سعة المكثف ، أي بتغير شدة الموجة الصوتية .

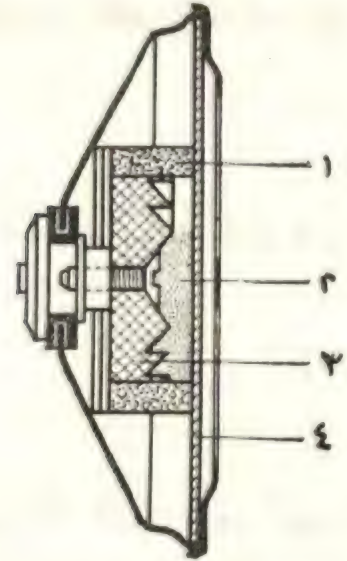


### ( ٣ ) الميكروفون الكهردينامي :

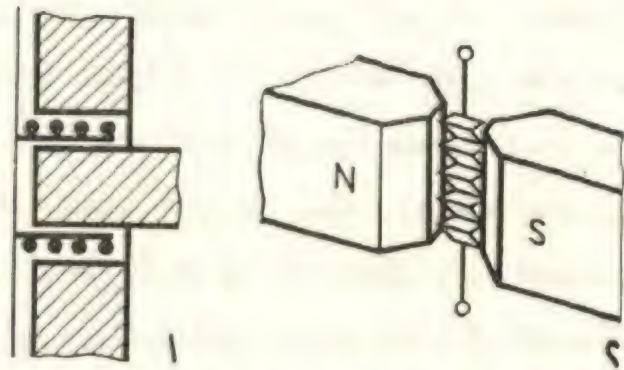
لا تختلف هذه الميكروفونات في تصميماتها عن الميكروفونات العادية ، غير أنها تمتاز بكفاءة عالية نظراً لتولد طاقة كهربائية فيها بالحث المغنطيسي تتناسب مع شدة الصوت . ويوضح شكل (٢١٨) تصميمين لطرازين من الميكروفونات الكهردينامية ، وهي من أكثر الطرز أهمية في هذا المجال .

( ا ) الميكروفون ذو الملف المتحرك .

( ب ) الميكروفون ذو الملف الشريطي .



الشكل (٢١٧) رسم تخطيطي لمقطع في ميكروفون التلامس الكربوني  
١ - حلقة من اللباد  
٢ - حبيبات الكربون  
٣ - أقطاب من الكربون  
٤ - غشاء كربوني



الشكل (٢١٨) الميكروفون الكهروديناميكي

١ - الميكروفون ذو الملف المتحرك

تؤدي الموجات الصوتية إلى اهتزاز الملف المتحرك ، أي إلى دخوله وخروجه في الشفرة الهوائية ، لمغنطيس دائم ، فيؤدي ذلك إلى تولد قوة دافعة كهربائية متماثلة تماماً مع إيقاع الموجات الصوتية .

٢ - الميكروفون الشريطي

تقوم الموجات الصوتية بتحريك غشاء رقيق من الألومنيوم على شكل شريط موضوع بين أقطاب المغنطيس الدائم فتتولد في الشريط قوة دافعة كهربائية متماثلة تماماً مع إيقاع الموجات الصوتية .



## الباب الثانى

### أجهزة تحويل الاشارات الكهربائية الى معلومات صوتية أو ضوئية

فيما يلى وصف لمجموعة من الأجهزة التى تقوم باستقبال الإشارات الكهربائية لتحويلها إلى معلومات صوتية أو ضوئية .

أولا : أجهزة تحويل الإشارات إلى معلومات صوتية :

هناك الكثير من الأجهزة المستخدمة فى تحويل الإشارات الكهربائية إلى أصوات مسموعة ، وأهمها الأجراس والأبواق وسماعات الرأس ، ومكبرات الصوت .

(١٠) الأجراس والأبواق :

( أ ) الأجراس الرنانة ( الجرس الرعاش ) :

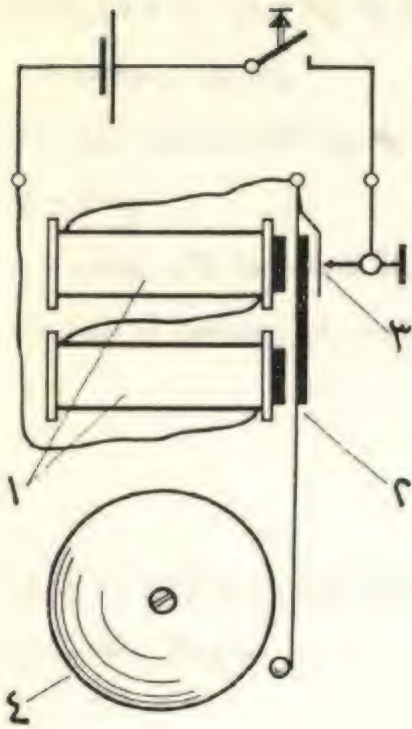
عندما تقفل دائرة الأجراس الكهربائية بواسطة الإشارات الكهربائية الصادرة من أجهزة تحويل المعلومات إلى إشارات ( مفاتيح التلامس مثلا ) ، فإن ذلك يؤدي إلى مرور التيار الكهربائى فى ملف الجرس المبين فى شكل ( ٢١٩ ) فيتمغنط القلب الحديدى للمغنطيس الكهربائى . ويجذب إليه قطعة حديدية مثبت بها لسان الجرس الذى يدق على الطارة الرنانة . وفى لحظة الجذب ينقطع دخول التيار إلى ملفات المغنطيس الكهربائى ، وذلك نتيجة لفتح الملامس الموجود عند نهاية لسان الجرس للدائرة الكهربائية ، وعند انقطاع التيار يفقد المغنطيس الكهربائى شدته ، وفى هذه الحالة يتمكن الياى الذى يمسك القطعة الحديدية المتحركة من إرجاع اللسان إلى مكانه فيغلق دائرة الملفات مرة ثانية ، وعندئذ يمر التيار فيجذب المغنطيس الكهربائى اللسان الذى يدق على الطارة الرنانة ، وهكذا . وتوجد أنواع مختلفة من مجموعة الأجراس مثل الجرس أحادى الشوط ، جرس بدائرة توازى ، إلخ . ويعتبر الجرس الرعاش من أهم الأجراس المستخدمة حاليا .

( ب ) الأجراس المكتومة ( الأجراس الرنانة ) :

تتميز هذه الأجراس بأن صوتها منخفض ومقبول . ويتكون الجرس من مغنطيس كهربائى يوضع أمامه لوحة معدنية زنانة رجوعية مثبتة من أحد أطرافها بياى ، وتهتز اللوحة عند مرور تيار كهربائى متردد فى ملفات المغنطيس الكهربائى . ويتناسب اهتزاز اللوحة المعدنية الزنانة فى هذه الحالة مع تردد التيار المار فى ملفات المغنطيس الكهربائى .

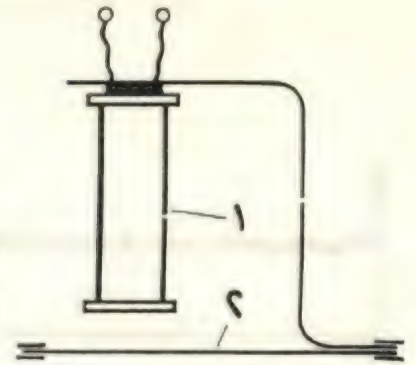


الشكل (٢١٩) فكرة عمل الجرس المتقطع ( الجرس الزنان )



- ١ - مغنطيس كهربي
- ٢ - لسان الجرس .
- ٣ - ملامس لقطع وتوصيل التيار
- ٤ - طاسة الجرس

الشكل (٢٢٠) فكرة



- عمل الجرس الزناني المكتوم  
١ - مغنطيس كهربائي  
٢ - لوحة زنانية يصدر  
عنها الصوت.

ويبين شكل (٢٢٠) أحد هذه الأجراس .

(ج) الجرس الزنان ذو المطرقة :

تستخدم هذه الأجراس كوسيلة من وسائل التنبيه التي تصدر أصواتا ذات شدة عالية . وينبئ عمل هذه الأجراس على نفس الفكرة التي تعمل بها الأجراس الزنانة ، إلا أنه يستبدل باللوحة المعدنية طاسة نحاسية كبيرة تصدر صوتا دقاقا عندما يسقط عليها لسان الجرس ، الذي يحمل في نهايته كرة على هيئة مطرقة . وهذا اللسان مثبت بالمغناطيس الكهربائي ويهتز معه .

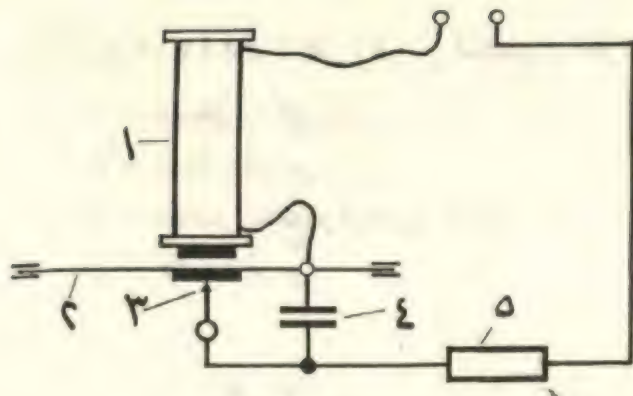
(د) البوق :

توجد أبواق تعمل على التيار المستمر ، وأخرى تعمل على التيار المتردد. وتنبنى فكرة عمل أبواق التيار المتردد على نفس الفكرة التى تعمل بها الأجراس الزنانة المكتومة ، إلا أنه يستبدل باللوح المهتز الموجودة فى الأجراس الزنانة غشاء يوضع أمام المغنطيس الكهربائى ، ويتم ضبط نغمته ليصدر الصوت المرغوب ، أما أبواق التيار المستمر فينبى تصميمها على مبدأ تصميم الجرس المتقطع ، كما هو مبين فى شكل (٢٢١) .

(٥) الصفارة :

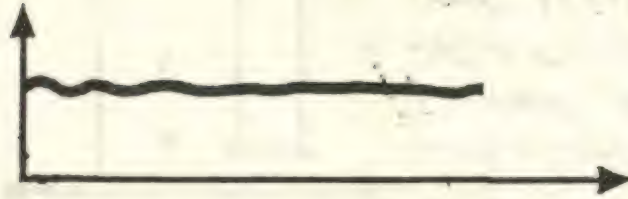
يتم تشغيل هذه الصفارات بواسطة محرك كهربائي ، يدير أسطوانة تدفع الهواء داخل حجرة بها ثقب مرتبة بطريقة معينة . وينشأ عن دوران الأسطوانة انضغاط الهواء وتمده بالحجرة ، وينتج عن ذلك صوت الصفارة المعروف . وبذلك تتحول الإشارة الكهربائية إلى صوت مسموع .



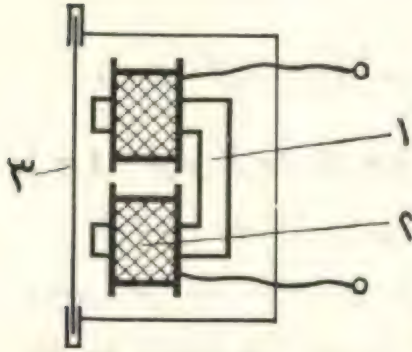


الشكل (٢٢١) كيفية عمل البوق بتيار مستمر

- ١ - مغنطيس كهربائي
- ٢ - غشاء مثبت بإحكام على طول محيطه .
- ٣ - قاطع
- ٤ - مكثف واق لمنع حدوث الشرارة
- ٥ - مقاومة لتخفيض تيار بدء التشغيل



الشكل (٢٢٢) نموذج يبين شكل التيار الناتج من الموجات الصوتية .



الشكل (٢٢٣) كيفية عمل سماعة الرأس

- ١ - مغنطيس دائم على شكل حدوة الحصان .
- ٢ - ملفات
- ٣ - غشاء مثبت قابل للاهتزاز

#### (١١) سماعة الرأس :

تستخدم هذه السماعات بكثرة ، سواء على هيئة سماعة أذن أحادية ضمن المجموعة اليدوية الخاصة بأجهزة التليفونات ، أو على هيئة سماعة زوجية تلبس على الرأس ، كما في الستراتلات وفي مكاتب الخدمة البرقية .

ويبين شكل (٢٢٣) طريقة عمل سماعات الرأس ، وتتركب من مغنطيس كهربائي مكون من عدد كبير من الملفات يوجد بداخلها قطب حديدي واحد (مغنطيس كهربائي وحيد القطب) أو عدة أقطاب ( مغنطيس كهربائي متضاعف القطب ) ( ١ ) . وبوضع أمام المغنطيس الكهربائي غشاء رقيق ( ٣ ) . وعندما يمر بالملفات التيار المتغير الناتج من الميكروفون الذي سبق شرحه والذي تختلف شدته تبعاً لاختلاف شدة الصوت في الميكروفون فإن شدة المجال المغنطيسي الناتج تتغير تبعاً لتغير التيار ، وبالتالي فإن اهتزاز الغشاء الرقيق يتغير تبعاً لشدة المجال فيصدر منه صوت يحاكي الصوت الناتج عن الميكروفون . وبذلك يتم تحويل الذبذبات الكهربائية إلى ذبذبات صوتية ، شكل (٢٢٢) .



## (١٢) مكبرات الصوت :

يعتبر مكبر الصوت تصميمًا محسنًا للساعات ، حيث إنه يعيد إصدار الصوت بعد تكبير ( لذلك فإنه يحتاج عادة إلى مصدر قدرة خارجية لتكبير الصوت ) . وتوجد عدة أنواع من مكبرات الصوت ، منها :

( أ ) المكبرات ذات الحديد المتحركة .

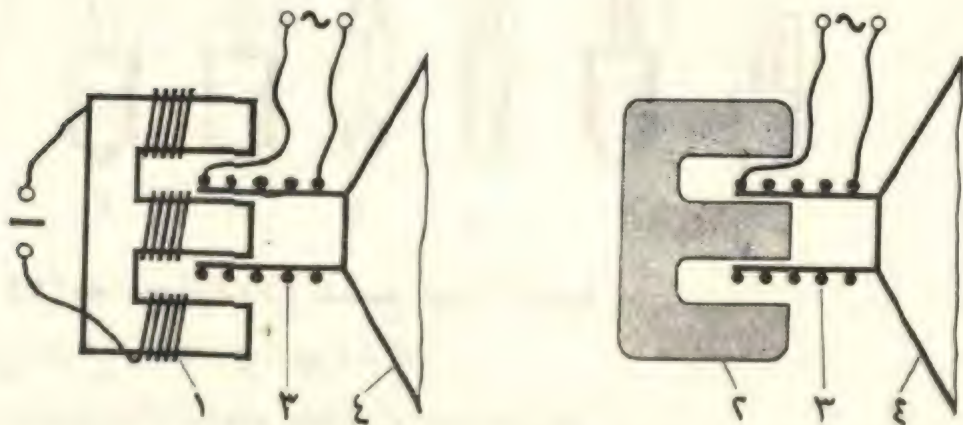
( ب ) المكبرات الدينامية .

( ج ) المكبرات الكهردينامية .

وقد بطل استخدام المكبرات ذات الحديد المتحركة حاليًا ، وتستخدم بدلا منها المكبرات الدينامية أو المكبرات الكهردينامية . والفرق بين المكبرين الأخيرين يتلخص في استخدام مغنطيس دائم في المكبرات الدينامية لإنتاج مجال مغنطيسي ثابت ذي شدة عالية ، كي يساعد المجال المغنطيسي المتغير الناتج من الصوت ، مما يؤدي إلى وجود مجالات مغنطيسية متغيرة قوية تعمل على اهتزاز ملفات الصوت داخل الثغرة الهوائية . وتلصق ملفات الصوت من الخارج بغشاء رقيق على هيئة مخروط ، وعندما يمر التيار ذو التردد الصوتي في الملفات فإنه يؤدي إلى اهتزاز ملفات الصوت وبالتالي إلى اهتزاز الغشاء المخروطي الرقيق . فيصدر من الغشاء صوت مماثل للصوت المراد سماعه . وبذلك يتم تحويل الذبذبات الكهربائية إلى ذبذبات صوتية ، انظر الشكل (٢٢٤) .

أما المكبرات الكهردينامية فيستخدم فيها مغنطيس كهربائي بدلا من المغنطيس الدائم .

وأهم مميزات مكبرات الصوت الدقة في محاكاتها لجميع لنغمات التي تصل إليها ، مع خلو الصوت الناتج من التشويه .



الشكل (٢٢٤) كيفية عمل مكبرات الصوت الدينامية ومكبرات الصوت الكهرودينامية

٣ - ملف متحرك

١ - مغنطيس كهربائي

٤ - غشاء مثبت قابل للاهتزاز

٢ - مغنطيس دائم



وتعتبر المكبرات الدينامية والكهردينامية أنسب المكبرات المستخدمة في إذاعة الأصوات والموسيقى ذات الطبقة المنخفضة نسبيا . وقد أدخل تحسين على مكبرات الصوت باستخدام مكبر إضافي يعمل على أساس كهروستاتيكي ، أو عن طريق تأثير البلورى ، مما زاد من كفاءة المكبرات الكهردينامية الحديثة، حيث تؤدي الطاقة الكهربائية الناتجة من الضغط على البلورات بواسطة موجات الصوت ، والتي يطلق عليها اسم « الطاقة الكهربائية البيروستاتيكية » إلى زيادة التكبير بواسطة المكبر الكهردينامي وخاصة للأصوات ذات التردد المنخفض جدا .

ثانيا : أجهزة تحويل الإشارات الكهربائية إلى معلومات ضوئية :

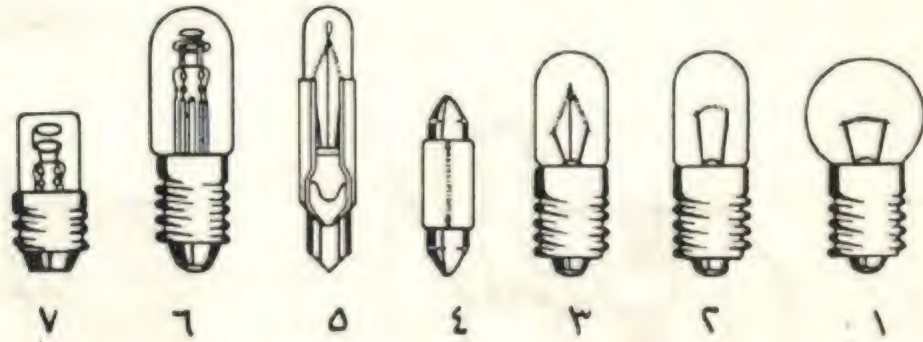
(١٣) مصابيح الإشارة ولوحات البيان :

( أ ) مصابيح الإشارة ( مصابيح البيان المتوهجة ) :

يبين الشكل (٢٢٥) بعض أنواع مصابيح الإشارة الشائعة الاستعمال .

وتركب مصابيح الإشارة المتوهجة من أنابيب مفرغة ينبعث منها ضوء غني بالأشعة الحمراء عندما يمر بها التيار الضعيف الصادر من مفاتيح التحكم أو من وسائل القطع والوصل السابق شرحها . وبذلك يتم تحويل الإشارات الكهربائية إلى معلومات ضوئية .

وهذه المصابيح المبينة في الشكل تلائم الأماكن التي تتطلب خدمة ضوئية مستمرة بقدرة استهلاك منخفضة .



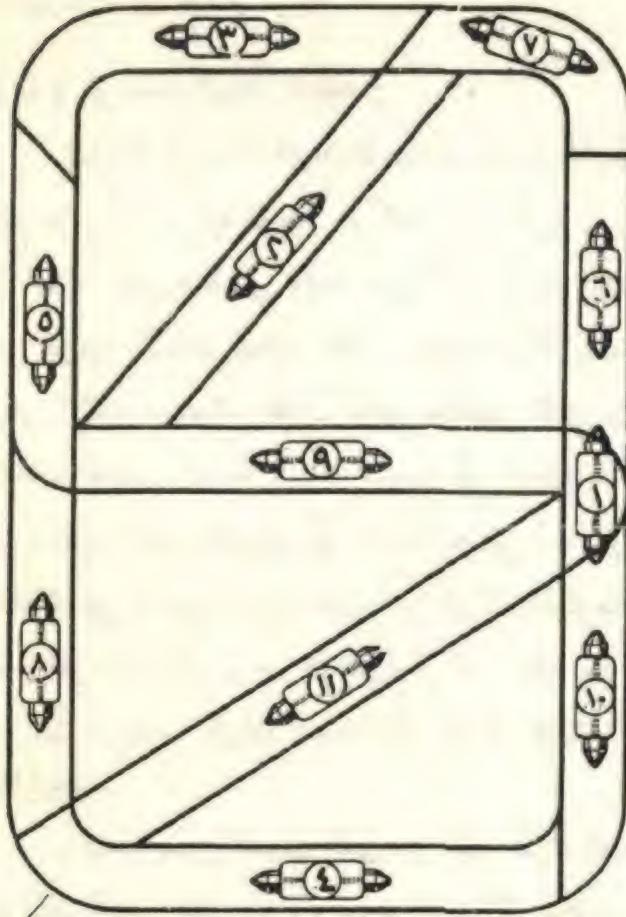
الشكل (٢٢٥) مصابيح الإشارة ( مصابيح البيان المتوهجة )

- ١ - مصباح متوهج يستخدم في أجهزة البيان
- ٢ ، ٣ - مصابيح بيان تستخدم أيضا في لوحات التوزيع
- ٤ - نفس المصابيح السابقة ولكن لها شكل أنبوبي
- ٥ - مصابيح مستخدمة في الإشارات التليفونية
- ٦ ، ٧ - مصابيح مغرفة متألقة تستخدم في الإشارة أو البيان



(ب) اللوحة العددية المضيئة :

تستخدم اللوحة العددية المضيئة لتحويل الإشارات الكهربائية الصادرة إليها إلى معلومات مرئية . وتحتوى هذه اللوحة على أرقام معدنية مفرغة ومضاءة من الخلف ، وتوضع هذه الأرقام متجاورة وفي صفوف أفقية متراسة فوق بعضها البعض . ويحتوى كل صف على الأرقام من صفر إلى ٩ . وباستخدام لوحة مكونة من أربع حجرات ، كل حجرة فيها تشبه تلك المبينة في شكل (٢٢٦) ، فإنه يمكن إظهار الأعداد من صفر حتى ٩٩٩٩ .



	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	٠
١										
٢										
٣										
٤										
٥										
٦										
٧										
٨										
٩										
١٠										
١١										

لشكل (٢٢٦) إحدى حجرات الإضاءة

للوحات عددية مضيئة .

١ - حجرة إضاءة

٢ - لوحة عددية مضيئة

٢ | ١ - مصابيح أنبوبية

٢ ٢ - الأرقام العددية



ويتم تشغيل مثل هذه اللوحة بواسطة مجموعة من المفاتيح مكونة من ١١ مفتاحاً، يستخدم أحدها في إلغاء مجموعة الأرقام ، وترتبط هذه المفاتيح بعضها ببعض ، بحيث يتم تشغيل رقم واحد فقط ، ولا يمكن تشغيل مجموعة من الأرقام في نفس الوقت. ويجب أن يقوم مفتاح الإلغاء بعمله قبل تشغيل أى رقم آخر. وفي هذه اللوحة يمكن مثلاً تمثيل الرقم صفر عندما تعمل جميع المصابيح فيما عدا المصابيح ٢ ، ٩ ، ١١ . وتعتبر هذه اللوحة محول طاقة يستخدم في تحويل الإشارات الكهربائية إلى أرقام مرئية .

#### ( ج ) لوحات البيان المعلقة :

تستعمل لوحات البيان المعلقة في هندسة التليفونات والسنترالات لتحويل الإشارات الكهربائية إلى معلومات مرئية نتيجة لحركة قرص ملون . وتتركب اللوحة المعلقة من عضو دوار موضوع في مجال كهرومغناطيسي مثبت من أحد طرفيه بياى حلزوني لإعادته إلى وضعه الأصلي . وتلتصق على الوجه الأمامي للعضو الدوار لوحة بيان بيضاء اللون . وعند غلق الدائرة الكهربائية بواسطة تيار الإشارة يتولد المجال الكهرومغناطيسي الذي يؤدي إلى تحريك العضو الدوار بالحث خلال  $\frac{1}{8}$  لفة ، فتظهر لوحة البيان البيضاء في النافذة المخصصة لها . ولإظهار اللوحة البيضاء بوضوح في مكانها تدهن النوافذ أو الفتحات من الخارج باللون الأسود . ويدل وجود هذه اللوحة في النافذة على وجود نوع معين من أنواع المعلومات مثل انشغال الخط التليفوني الذي تدل عليه هذه اللوحة ، أو وجود عطل ، أو غير ذلك من المعلومات الخاصة بالتركيبات التليفونية . ومن مميزات لوحات البيان المعلقة التي تحول الإشارات إلى معلومات أنها لا تحتاج إلى القدرة ضئيلة لتشغيلها .

وعندما ينتهى السبب الذي من أجله تحرك العضو الدوار ، فإنه يعود إلى وضعه الأصلي تلقائياً بواسطة الياى الحلزوني ، وتعود اللوحة إلى مكانها .

#### ( د ) لوحات البيان الساقطة :

لا تختلف لوحات البيان الساقطة اختلافاً جوهرياً في طريقة عملها عن لوحات البيان المعلقة ، لذلك تسمى أحياناً المعلقات الساقطة . والاختلاف الأساسى بينها هو أن لوحات البيان الساقطة لا ترجع إلى مكانها الأصلي تلقائياً بعد انتهاء السبب الذي من أجله سقطت لوحة البيان . ولذلك تستعمل هذه اللوحات حيث يلزم بقاء اللوحة في مكانها . ونعاد اللوحة إلى مكانها الأصلي عادة بالطرق اليدوية . ولذلك تسمى أحياناً لوحات تخزين المعلومات .

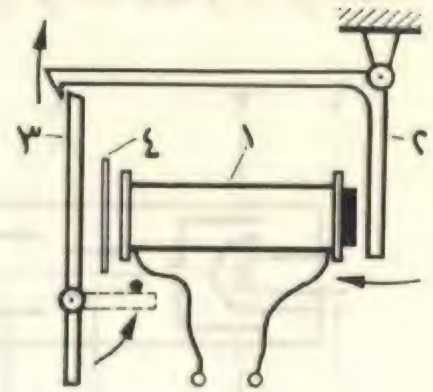
وتتكون اللوحة الساقطة كما في شكل (٢٢٧) من قرص غير مغناطيسي يحمل رقماً أو حرفاً يدل على نوع معين من أنواع المعلومات ( مثل المحول ، لا يعمل ، أو الحجرة رقم ٤ مشغولة ) . ويثبت القرص بعضو دوار بواسطة ذراع . ويوضع العضو الدوار في مجال مغناطيسي كهربائي .



ويدور العضو الدوار إلى أسفل ، فتسقط لوحة البيان بمجرد مرور الإشارة الكهربائية في ملفات المغنطيس الكهربائي .

الشكل (٢٢٧) فكرة عمل لوحات البيان الساقطة

- ١ - مغنطيس كهربائي
- ٢ - العضو الدوار
- ٣ - اللوحة الساقطة
- ٤ - لوحة مرقة



#### (١٤) الصمام ذو الشعاع لكاثودي :

تستخدم هذه الصمامات في تحويل الإشارات الكهربائية إلى ضوء مرئي بألوان متعددة تظهر على شاشة فلورسنتية . والصمامات من أهم الأجهزة المستخدمة في القياسات الكهربائية المختلفة وفي رسم الذبذبات الكهربائية بجميع أنواعها ، وتستخدم الصمامات أيضا في الرادار والرؤية من بعد ( التليفزيون ) لقدرتها الفائقة على رسم الصورة المتحركة .

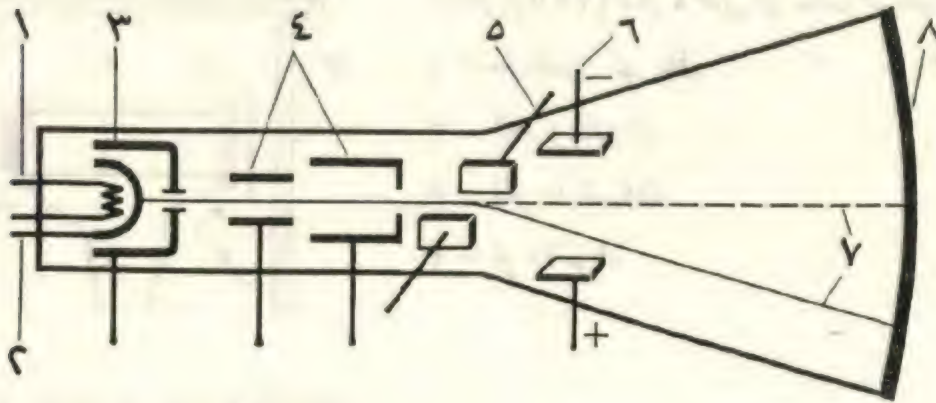
وتقسم صمامات الأشعة الكاثودية تبعا لاستعمالاتها إلى : صمامات قياس الذبذبة ، وصمامات التصوير ، ويعمل كل من الصمامين وفقا لنفس الفكرة ، إلا أن لكل منهما أداء مميزا يختلف عن الآخر .

ويبين شكل (٢٢٨) فكرة صمام راسم الذبذبات ذي الشعاع الكاثودي . ويشتمل الصمام عادة على أنبوبة مفرغة على هيئة قمع ، توجد في نهايتها الواسعة شاشة فلورسنتية مغطاة بكبريتور الزنك وكبريتور الكاديوم . وترسم الصورة على الشاشة نتيجة لاصطدام الشعاع الإلكتروني بها . ويتولد الشعاع داخل الأنبوبة نتيجة لتسخين الكاثود المصنوع من أكسيد الباريوم . ويتم تركيز هذا الشعاع وتوجيهه على الشاشة حتى يرسم الصورة المطلوبة باستخدام أسطوانة أنودية مثقوبة توضع في مسار الشعاع الإلكتروني تسمى « أسطوانة فنهيليت » .

وتعتبر قيمة الجهد المسلط على أسطوانة « فنهيليت » عاملا حاسما في درجة اللمعان للصورة المتكونة على الشاشة الفلورسنتية ، حيث أنه يحدد سرعة إلكترونات الشعاع الكاثودي . ثم تتركز الإلكترونات مرة أخرى بواسطة أنبوبة بجهد سالب . كما يوضع في مسار الشعاع لوحان أفقيان لهما مجال إلكتروستاتيكي يمكن بواسطته إحداث انحراف رأسي في الشعاع ، بحيث تتحرك الإلكترونات إلى أعلى أو إلى أسفل تبعا لشكل الجهد المسلط عليهما . كذلك يوجد لوحان رأسيان لهما مجال إلكتروستاتيكي يمكن بواسطته إحداث انحراف أفقي للشعاع يمينا ويسارا بنفس الكيفية .



وقد تستبدل بالألواح الأفقية والألواح الرأسية ملفات أفقية وملفات رأسية يمر بها تيار كهربائي لإحداث الانحراف بالطرق الكهرمغناطيسية. وتتوقف قيمة الانحراف عادة على قيمة جهد اللوحين أو الملفين. وفي حالة عدم وجود أى جهد على اللوحين، يظهر الشعاع على هيئة نقطة في مركز الشاشة الفلورسنتية.



الشكل (٢٢٨) أساس عمل الصمام ذى الشعاع الكاثودى

- |                        |  |
|------------------------|--|
| ١ - فتيلة تسخين        | ٥ - الألواح الرأسية المستخدمة في إحداث انحراف الشعاع أفقيا |
| ٢ - الكاثود            | ٦ - الألواح الأفقية المستخدمة في إحداث انحراف الشعاع رأسيا |
| ٣ - أسطوانة فوهيليت    | ٧ - الشعاع الكاثودى ( المدفع الإلكترونى )                  |
| ٤ - الأسطوانة الأنودية | ٨ - الشاشة الفلورسنتية                                     |

ويستخدم هذا الصمام في قياس الموجة الجيبية للتيار المتردد. فإذا سلط التيار المتردد المراد معرفة شكله على اللوحين الأفقيين اللذين يسببان الانحراف الرأسى، فإن الموجة تظهر على الشاشة على هيئة خط رأسى مستقيم، حيث أن البقعة الضوئية ستتحرك إلى أعلى وإلى أسفل فقط. لذلك يوصل اللوحان الرأسيان اللذان يسببان الانحراف الأفقى بجهد يسمى الجهد الكاسح، ويكون لهذا الجهد عادة شكل سن المنشار، ليكسب البقعة الضوئية حركة أفقية إضافية منتظمة. وفي هذه الحالة تظهر صورة ذبذبة التيار المراد معرفة شكل موجته كحركة مستمرة بالنسبة للزمن. وللحصول على صورة تكاد تكون ثابتة لهذه الذبذبات، تستخدم وسيلة إضافية لها جهد اكتساح سالب بالنسبة للكاثود. وتوضع هذه الوسيلة على اللوحين الرأسيين اللذين يسببان الانحراف الأفقى. ويطلق عادة على نظام توليد الإلكترونات وإسراعها وتركيزها اسم المدفع الإلكترونى. وتوجد عدة أنواع وطرازات مختلفة للصمامات التى تعمل بالألواح الانحراف الكهرستاتيكي، أو بملفات الانحراف الكهرمغناطيسى المستخدمة كصمامات لشاشة التليفزيون أو فى أجهزة الرادار والتحكم فى الطيران، ولتسجيل الظواهر وكيفية تغيرها بالنسبة للزمن.



## الباب الثالث

### تضخيم الإشارات الكهربائية

(١٥) عام :

من المعروف أن الطاقة الكهربائية للإشارات المستخدمة في هندسة الاتصالات ضعيفة جدا ، فجهدها منخفض وتيارها متناه في الضعف . لذلك تستخدم المضخمات عادة في هذا المجال لتقوية الإشارات وإظهارها بوضوح . ويفضل في بعض الأحيان ، من وجهة النظر الاقتصادية ، تضخيم الإشارات عند نقطة الاستقبال ، بدلا من تضخيمها أثناء إرسالها .

ويستخدم في هندسة الاتصالات وسائل وأجهزة شتى لتضخيم الإشارات ، أهمها :

١ - المرحلات .

٢ - مضخم الإشارات ذات التردد العالي .

٣ - مضخم الإشارات ذات التردد المنخفض .

وقبل التحدث عن المضخمات ، يفضل أن نتناول بالشرح بعض التعريفات المستخدمة في هذا المجال ، وأهمها كفاءة التضخيم أو معامل التكبير .

تعرف كفاءة التضخيم بأنها النسبة بين القدرة الداخلة للمضخم إلى القدرة الخارجة منه :

$$\text{كفاءة التضخيم} = \frac{\text{القدرة الداخلة}}{\text{القدرة الخارجة}} = \frac{Q_d}{Q_x}$$

(١٦) المرحلات :

شرحنا المرحلات وميزاتها في القسم الخاص بهندسة القوى . وتستخدم المرحلات أيضا في هندسة الاتصالات كمضخمات بالإضافة إلى استخداماتها الأخرى .

وللمرحلات أهمية خاصة من حيث استخدامها كمضخمات في هندسة الاتصالات ، حيث أنها تقوم بفصل أو وصل التيارات ذات الشدة الكبيرة المستخدمة في هندسة القوى أو هندسة الاتصالات ، ومن مميزات أن القدرة اللازمة لتشغيل المرحلات صغيرة جدا . وتعرف كفاءة التضخيم في المرحلات بأنها النسبة بين مجموع قدرات الدوائر التي تعمل عليها مرحلة ما ( مرحل ما ) إلى القدرة اللازمة لتشغيل هذه المرحلة :



$$\text{كفاءة المرحلة} = \frac{\text{قدرة الفصل أو الوصل}}{\text{قدرة الإثارة (قدر تشغيل المرحلة)}}$$

ومن المعروف أن قدرة الدوائر التي تعمل عليها ملامسات المرحلة (المرحل) أى الدوائر التي تقوم بفتحها أو غلقها ، أكبر بكثير من القدرة الضعيفة اللازمة لتشغيل ملامسات المرحلة لوصل وقطع التيار المار في هذه الدوائر .

قدرة تشغيل المرحلة (وتسمى قدرة الإثارة) :

من المعروف أن قدرة تشغيل المرحلة تساوى حاصل ضرب جهد الإثارة ( ج م ) في تيار الإثارة ( ت م ) .

ويعتمد مقدار قدرة الفصل والوصل على أبعاد الملامسات ، والحامة التي تصنع منها الملامسات ، وتصميمها ، وطريقة عملها .

والمثال التالى يبين كيفية حساب كفاءة التضخيم في المرحلات .

مثال :

مرحل بملف يعمل على جهد ١٢ فلت . يمر به تيار إثارة ( تيار تشغيل ) ١٠٢ مللى أمبير ليكون قادرا على تشغيل أربعة ملامسات ، يعمل كل ملامس منها على قدرة مقدارها ٦٠ وات .  
إحسب قدرة تضخيم المرحلة .

المعطيات	المطلوب
ج م = ١٢ فلت	قدرة التضخيم

ت م = ١٠٢ مللى أمبير

قدرة الفصل = ٤ × ٦٠ وات = ٢٤٠ وات .

الحل :

قدرة الإثارة = ج م × ت م

= ١٢ فلت × ١٠٢ مللى أمبير = ١٢٢٤ مللى وات

= ١٢٢٤ وات .

كفاءة التضخيم =  $\frac{\text{قدرة الفصل}}{\text{قدرة الإثارة}}$

=  $\frac{٢٤٠ \text{ وات}}{١٢٢٤ \text{ وات}} = ١٩٦$

أى أن هذا المرحل يمكن أن يضخم ١٩٦ مرة من قدرة إثارته .  
 فإذا أوصلت إليه قدرة إثارة مقدارها ١,٢٢٤ وات ، فيمكنه تشغيل دوائر كهربائية  
 تصل قدرتها إلى ٢٤٠ وات عن طريق ملامساته الأربعة .

### (١٧) تضخيم الإشارات ذات التردد العالى :

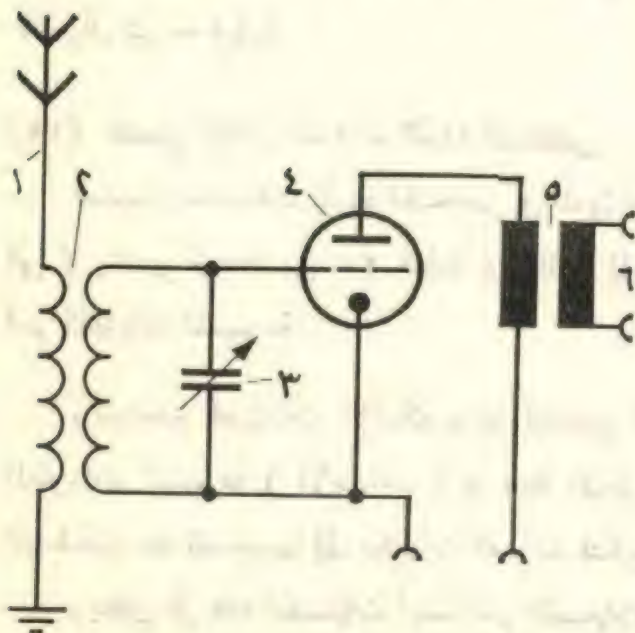
تستخدم الموجات الكهرومغناطيسية ذات الذبذبة العالية فى حمل المعلومات والإشارات ذات  
 الذبذبة المسموعة ( المنخفضة ) لإرسالها بالطرق اللاسلكية .

وعند اصطدام الموجات ذات التردد العالى الحاملة للإشارات المسموعة بهوائى جهاز الاستقبال  
 فإنها تحتاج عادة لعدة مراحل من التضخيم تستخدم فيها صمامات إلكترونية لا تحتاج إلى قدرة تذكر  
 للقيام بعملية التضخيم . ويبين الشكل (٢٢٩) إحدى المراحل المستخدمة فى تضخيم الموجات ذات  
 التردد العالى ، حيث يمر الجهد الناتج من اصطدام الموجات المرسله بالهوائى إلى ملفات دائرة  
 الرنين (دائرة الاختيار) . وهذا الجهد الناتج من الاصطدام لا يتعدى ٠,٠٠٥ فلت . وتم عملية  
 التضخيم للموجات ذات التردد العالى على مرحلتين هما : مرحلة الاختيار ومرحلة التضخيم .

### ( أ ) مرحلة الاختيار

تستخدم دوائر الاختيار ، كما هو واضح من اسمها ، فى اختيار الموجة المطلوبة واستبعاد  
 بقية الموجات . وتتكون دائرة الاختيار ( دائرة الرنين ) من ملف ومكثف متغير كما هو  
 موضح بالشكل .

ويستخدم المكثف المتغير لضبط تردد هذه الدائرة حتى تتلاءم ( أى تحدث رنيناً ) مع تردد  
 الموجات الكهرومغناطيسية المختارة المراد استقبالها أو إحداث رنين معها ، وبذلك يكون التيار  
 المناظر لهذه الموجات هو أكبر تيار يمكن أن يمر بالدائرة . أما تيار الموجات الأخرى فيستبعد .



الشكل (٢٢٩) مضخم الإشارات ذات التردد

العالى بصمام ثلاثى

١ - هوائى

٢ - ملف الدخول .

٣ - دائرة تذبذب مكونة من ملف ومكثف متغير

٤ - صمام ثلاثى .

٥ - محول ذبذبة عالية .

٦ - إلى المرحلة التالية .



## (ب) مرحلة التضخيم :

يمر التيار المقابل للموجات المختارة من دائرة الاختيار إلى كاثود الصمام الثلاثي المضخم . ثم يمر التيار من الكاثود إلى الأنود ماراً بالشبكة التي تقوم بتضخيمه . ويمر التيار المضخم من الأنود إلى الملفات الابتدائية لمحول يستخدم في تكبير التيارات والجهود ذات التردد العالي . ثم ينساب من الملفات الثانوية إلى مرحلة أخرى من مراحل التضخيم . وفيما يلي شرح مبسط للصمام الثلاثي المستخدم كضخم .

### (١٨) الصمام الثلاثي المستخدم كضخم :

يتكون الصمام الثلاثي من كاثود وأنود وقطب ثالث مثقب بشكل شبكة معزولة تثبت بين الكاثود والأنود . ووظيفة هذه الشبكة هي التحكم في التيار المار من الكاثود إلى الأنود ( التيار الأنودي ) . ويتم ذلك بأن يسلط على الشبكة جهد يجرى تغييره حسب الحاجة .

وعندما يكون جهد الشبكة موجباً بالنسبة للكاثود يزداد مرور الإلكترونات ، وبذلك يمكن استخدام الصمام الثلاثي كضخم ( للجهد أو التيار أو القدرة ) ، بتغيير قيمة الجهد بين شبكة الصمام والكاثود بطريقة معينة ، بحيث تؤدي إلى زيادة التيار المار بين الكاثود والأنود لتضخيمه بالقيمة المطلوبة ، وبحيث يكون مماثلاً تماماً للتيار الأساسي .

أما إذا كان جهد الشبكة سالباً فإنه يمر عدد أقل من الإلكترونات . ويتم التحكم في الإلكترونات دون فقد أي قدرة تذكر .

كما يمكن أيضاً استخدام الصمام الثلاثي كولد للذبذبات أو ككاشف . وسيأتي شرح ذلك فيما بعد عند الكلام عن أجهزة الإرسال والاستقبال للموجات ذات التردد العالي . ومن الممكن استخدام المواد الترانزستور ( شبه الموصلة ) عوضاً عن الصمامات الإلكترونية كما سيأتي شرحه فيما يلي :

### (١٩) تضخيم الإشارات ذات التردد المنخفض :

استعملت مضخمات التردد المنخفض في بادئ الأمر لتضخيم الموجات الكهرومغناطيسية الضعيفة ، التي لا يتعدى ترددها من ٢٠ ذبذبة في الثانية إلى ٢٠ كيلوسيكل في الثانية ، والتي يطلق عليها اسم الذبذبات المسموعة .

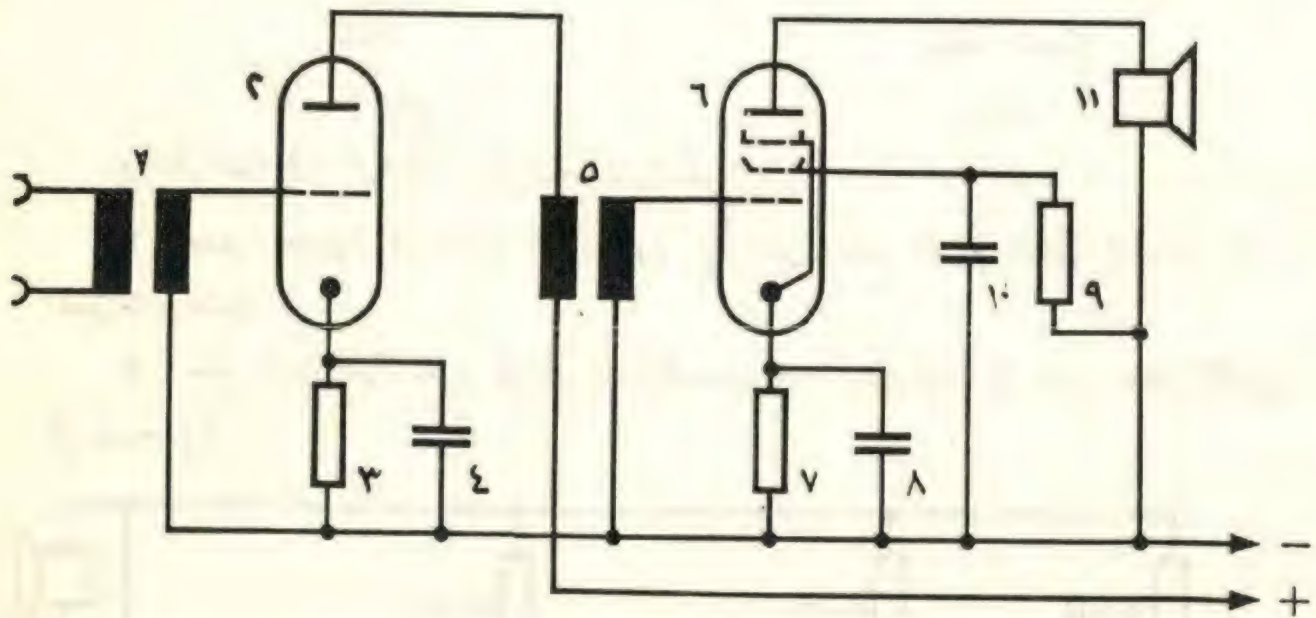
وتستخدم الصمامات الإلكترونية لتضخيم الإشارات الكهربائية الضعيفة الناتجة من تحويل المعلومات المسموعة ( الأصوات ) بواسطة الميكروفونات . . . إلخ ، ثم ترسل هذه الإشارات اللاسلكية بعد تضخيمها إلى مكبرات الصوت لتكبيرها وتحويلها إلى معلومات مسموعة بوضوح . ويطلق على هذه المضخمات أيضاً اسم المضخمات السمعية .



وبين شكل (٢٣٠) دائرة تضخيم لموجات كهرومغناطيسية ذات تردد منخفض ، وفيها يتم التضخيم على مرحلتين ، حيث يستخدم في المرحلة الأولى صمام ثلاثي ويستخدم في المرحلة الثانية صمام خماسي .

وتتلخص عملية التضخيم في الآتي :

يتم تحويل المعلومات المسموعة إلى إشارات كهربائية بتردد منخفض بواسطة ميكروفون أو جهاز من أجهزة تحويل المعلومات إلى إشارات ، ثم تمر هذه الإشارات إلى الملفات الابتدائية للمحول ( ١ ) ( بنسبة تحويل ١ : ١٠ ) لرفع جهد هذه الإشارات ، ثم إلى الصمام الثلاثي المضخم ، ثم إلى محول آخر بتردد منخفض لرفع الجهد ( بنسبة تحويل ١ : ٤ ) ومنه إلى الصمام الخماسي المضخم ، ثم إلى مجموعة سماعات أو مكبرات للصوت أو إلى أجهزة تسجيل ، أو أي أجهزة أخرى تقوم بتحويل الإشارات الكهربائية إلى معلومات مسموعة .



الشكل (٢٣٠) مضخم الإشارات ذات التردد المنخفض مكون من مرحلتين - الأولى بصمام ثلاثي والثانية بصمام خماسي .

١ - محول ذبذبة منخفض ( بنسبة تحويل ١ : ١٠ ) - الصمام الخماسي

( ١ : ١٠ )

٢ - صمام ثلاثي

٣ - المقاومة الكاثودية للصمام الثلاثي

٤ - المكثف الكاثودي للصمام الثلاثي

٥ - محرك ذبذبة منخفضة ( بنسبة تحويل ١ : ٤ )

٦ - صمام ثلاثي

٧ - المقاومة الكاثودية للصمام الخماسي

٨ - المكثف الكاثودي للصمام الخماسي

٩ - شبكة التسرب للصمام الخماسي

١٠ - مكثف شبكة التسرب

١١ - مكبر الصوت



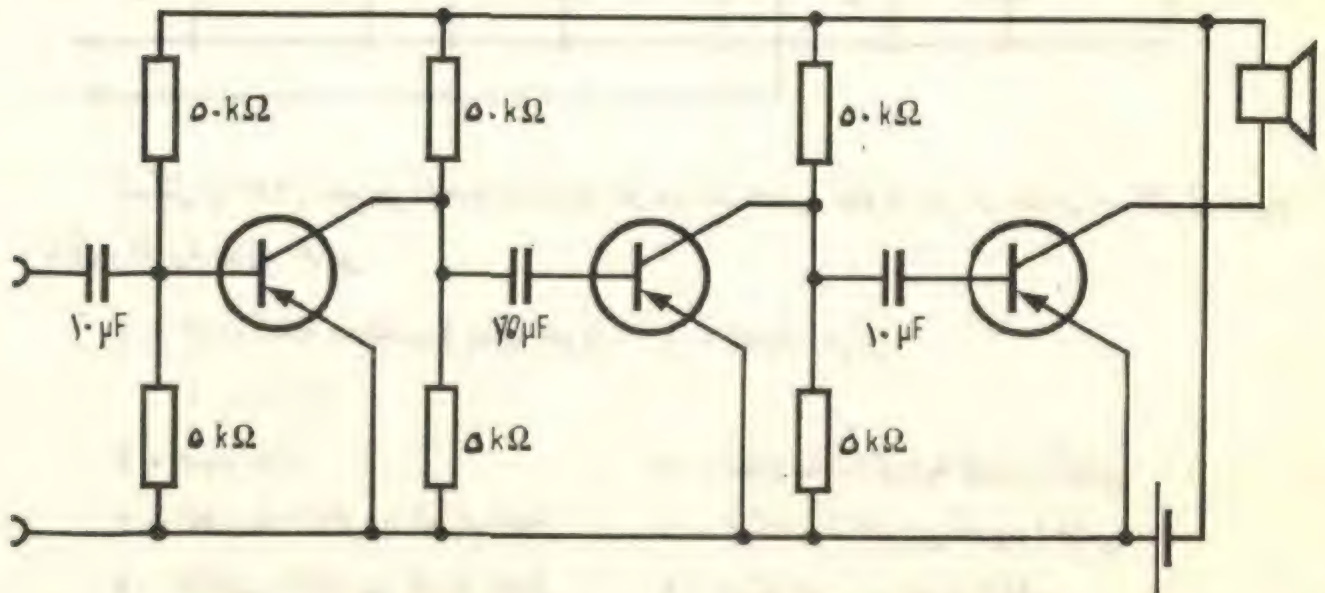
## (٢٠) المواد شبه الموصلة ( الترانزستور ) المستخدمة كضخم :

تم تطوير المواد شبه الموصلة ( الترانزستور ) ، التي سبق شرح عملها ، بحيث أصبحت تصلح كضخات بالإضافة إلى عملها كقومات . واستخدمت المواد شبه الموصلة في تضخيم الإشارات الكهربائية بتردد عال وبتردد منخفض . والمواد شبه الموصلة المستخدمة كضخات يمكن إنتاجها بإدماج صفات من أنواع ب ( المتقبل ) مع النوع ن ( الواهب ) . وتستعمل هذه الموجات حالياً بكثرة ، عوضاً عن الصمامات الثلاثية ، في أغراض التضخيم والتقويم والكشف . وفيما يلي بيان بالأسماء التي اتفق عليها لتسمية الأجزاء الرئيسية في المضخات الترانزستور والتي تناظر نفس الأجزاء الرئيسية في الصمامات الإلكترونية المستخدمة كضخات :

أسماء الأجزاء الرئيسية في المواد الترانزستور	أسماء الأجزاء الرئيسية المنظرة لها في الصمام الثلاثي
مجمع	أنود
قاعدة	شبكة التحكم
كاثود ( مشع )	باعث

وتمتاز المواد شبه الموصلة أو الترانزستور بالآتي :

- ١ - صغر حجمها ، فحجم الترانزستور  $\frac{1}{25}$  من حجم الصمام الثلاثي المقابل له في المميزات والقدرة .
- ٢ - عدم حاجة الترانزستور إلى أي قدرة للتسخين ، مما يؤدي أيضاً إلى صغر حجم الأجهزة التي يستخدم فيها .



الشكل (٢٣١) مضخم للإشارات ذات التردد المنخفض

مكون من ثلاث مراحل تضخيم باستخدام الترانزستور بدلا من الصمامات .

٣ - إنها تعمل بمجرد مرور التيار بها ، حيث أنها لا تحتاج إلى تسخين .

٤ - إنها تعمل على جهد أنودى ضعيف ( فى حدود ١٠ فلت ) إذا قورن بالجهد الأنودى للصمامات الإلكترونية الذى يصل إلى ٣٠٠ فلت ) . وينتج عن ذلك أن احتمالات الأعطال تكون أقل بكثير منها فى حالة الصمام الثلاثى .

وبين شكل (٢٣١) رسماً تخطيطياً لدائرة بها مضخات ترانزستور بدلا من الصمامات الإلكترونية ، تستخدم فى تضخيم الإشارات ذات التردد المسموع . وهى تتكون من ثلاث مراحل . وهذه الدائرة تستخدم فى نفس الأغراض التى تستخدم فيها دائرة التضخيم ذات المرحلتين بصمامات إلكترونية كذلك التى سبق شرحها . ودائرة التضخيم المعطاة فى شكل (٢٣١) بنفس قيم مكوناتها تستخدم فى تضخيم جهد أنودى فى حدود ١٠ فلت . ويتم تضخيم الجهد فى هذه الدائرة باستخدام مقاومات ومكثفات فقط ( أى دون استخدام ملفات أو محولات ) .



## الباب الرابع

### أجهزة إرسال واستقبال الاشارات ذات التردد العالي

أبرز العلم الحديث ، وعلى الأخص بحوث الفضاء ، بعض المشاكل المرتبطة بطول المسافة بين جهاز الإرسال وجهاز الاستقبال ، الأمر الذى أدى إلى استخدام أجهزة الإرسال والاستقبال القوية ذات الحجم الصغير .

(٢١) طرق توليد التيارات العالية التردد ( الموجات الكهرمغناطيسية ) :

يمكن توليد نوعين من التيارات ذات التردد العالى أحدهما بذبذبة مخمدة والآخر بذبذبة قسرية . وفيما يلي شرح مبسط لكيفية توليد النوعين .

١ - توليد الذبذبات المخمدة ( المضمحلة ) :

يمكن توليد التيارات العالية التردد أو الموجات الكهرمغناطيسية ذات التردد العالى ، بذبذبات مخمدة ( مضمحلة ) بواسطة دوائر مقفلة تعرف باسم دوائر التذبذب ( أو دوائر التوليف ) . وتتكون هذه الدوائر فى أبسط صورها عادة ( شكل ٢٣٢ ) من مكثف ( س ) متصل على التوازي بملف تأثيرى ( ل ) ، وتوصل هذه الدائرة على التوازي بمصدر للطاقة ( بطارية مثلاً ) لشحن المكثف ابتدائياً ، ثم يفصل مصدر الطاقة بعد ذلك . وبواسطة هذه الدائرة يمكن الحصول على الذبذبة الحرة أو الذبذبة المخمدة التى يمكن رؤية شكلها باستخدام جهاز راسم الذبذبات ( الأوسيلسكوب ) . وشكل الذبذبة الناتجة مماثل تماماً للنموذج ( ٥ ) الموضح فى الشكل ( ٢٣٢ ) . ويتم توليد الذبذبة المخمدة ( المضمحلة ) بالتسلسل التالى :

يشحن المكثف ( س ) بواسطة مصدر الطاقة حتى يتساوى جهد المكثف مع جهد المصدر . وعند غلق المفتاح لفصل مصدر الطاقة وتوصيل الملف ( ل ) على التوازي مع المكثف ( س ) فإن معدل تفريغ المكثف بالملف لا يتم بطريقة فجائية ، لأن الحث الذاتى للملف يجعل نمو تيار التفريغ بطيئاً . وفى أثناء نمو التيار يأخذ المجال الكهربائى فى المكثف فى التلاشى ، ويظهر بدلا منه فى الملف مجال مغنطيسى يتزايد حتى يبلغ نهايته العظمى ، وتحول الطاقة الكهربائية التى كانت فى المكثف إلى طاقة مغنطيسية فى الملف .



وعندما يتساوى جهد لوحى المكثف ( أى عندما يتم التفريغ نهائياً ) يتوقف نمو التيار ، وتأخذ خطوط القوى المغنطيسية فى الانكماش وتتولد قوة دافعة كهربائية تأثيرية تميل إلى إبقاء مرور التيار فى نفس الاتجاه الأصلى ( من المكثف إلى الملف ) ، وينشأ عن ذلك شحن المكثف فى الاتجاه المضاد ، وبذلك يتولد بالمكثف مجال كهربائى جديد إشارته عكس الإشارة عند بدء الشحن . وتكرر العمليات السابقة بنفس الترتيب ولكن فى الاتجاه المضاد ( أى فى اتجاه عكس الاتجاه الأصلى ) ثم تعود إلى الحالة التى بدأت بها . وهذا يكون التيار قد قطع دورة كاملة ثم تتلوها عدة دورات بنفس التتابع . غير أن الذبذبات الكهربائية تأخذ فى الاضمحلال لأن جزءاً من الطاقة الكهربائية يتبدد كحرارة ، نتيجة لمرور التيار فى المقاومة الأومية للدائرة ، كما أن جزءاً آخر من الطاقة ينطلق على هيئة إشعاع غير منظور من الأمواج اللاسلكية ، وبذلك تستمر ذبذبات الدائرة فى الاضمحلال حتى تبطل تماماً . ويعتمد التذبذب الحر أو التذبذب المحمّد على قيمة المكثف ( س ) والملف ( ل ) . وتتميز كل دائرة تذبذب بأن لها تردداً معيناً يدل على عدد الذبذبات الحرة التى تحدث بها فى الثانية ، ويساوى :

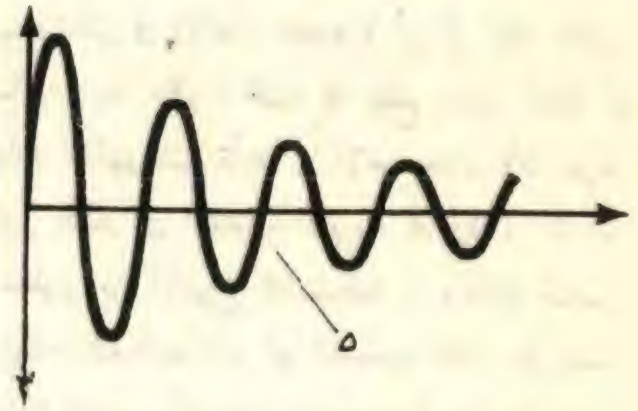
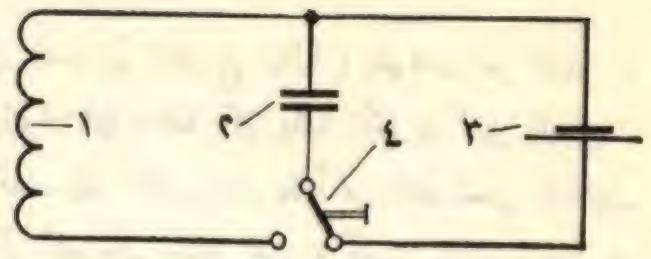
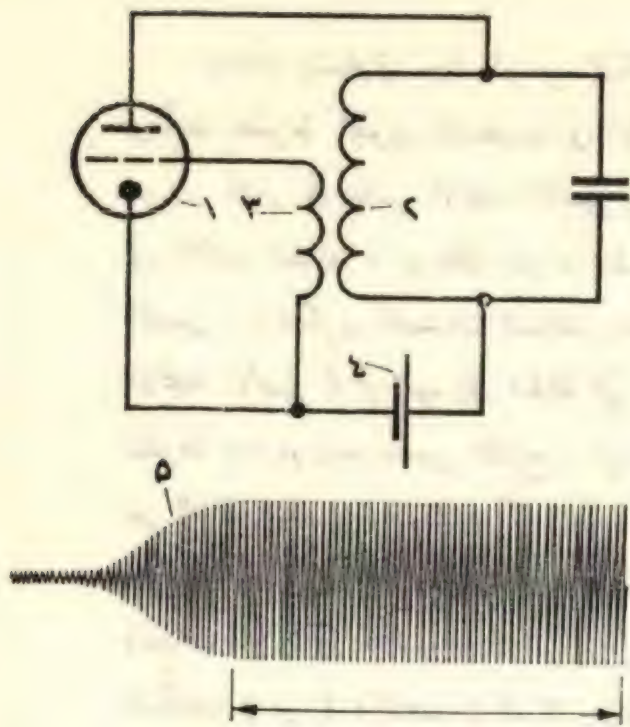
$$d = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

وشكل هذه الترددات المحمّدة يكون دائماً مائلاً للنموذج هـ . ولا تصلح التيارات ذات الذبذبات المحمّدة ( المضمحلة ) فى الإرسال للموجات الكهرومغنطيسية نظراً لعدم أهميتها . وإنما تستخدم عادة التيارات ذات الذبذبات غير المحمّدة أو الذبذبات القسرية فى عمليات الإرسال والاستقبال اللاسلكية .

## ٢ - توليد الذبذبات القسرية ( غير المحمّدة ) :

يمكن الحصول على ذبذبات غير محمّدة بإمداد دائرة التذبذب المحمّد السابق شرحها بطاقة مساوية للطاقة المفقودة عن طريق بطارية ، أو باستخدام صمام ثلاثى ، أو عن طريق دوائر التغذية المرتدة ( التغذية الرجعية ) ، ويبين شكل ( ٢٣٣ ) إحدى هذه الدوائر حيث يقوم الصمام الثلاثى بعمليات التغذية المستمرة للطاقة المفقودة ، لما يتميز به من خاصية التكبير . أما دوائر التغذية الرجعية فتقوم بالتحكم فى الطاقة الخارجة من الصمام حتى تتساوى تماماً مع الطاقة المفقودة . وتتكون دوائر التغذية الرجعية من دائرة تذبذب ، وهى عبارة عن مكثف متغير ، وملف حثى ، ومن ملف آخر يسمى ملف التوليف . ويوضع ملف التوليف عادة على نفس القلب أو الإطار الذى يوضع عليه الملف الحثى الخاص بدائرة التذبذب ، فيحدث بينهما ترابط حثى وثيق . ويقوم الملفان فى هذه الحالة بعمل محول ملفاته الابتدائية والثانوية لها حث متبادل ثابت .





الشكل (٢٣٣) دائرة تغذية مرتدة

١ - صمام ثلاثي

٢ - دائرة توليد ذبذبات

٣ - ملف توليف

٤ - مصدر الطاقة الكهربائية

٥ - نموذج لشكل الذبذبات غير المخمدة الناتجة.

الشكل (٢٣٢) رسم تخطيطي يوضح شكل

الذبذبات المخمدة وكيفية توليدها

١ - ملف

٢ - مكثف

٣ - مصدر الطاقة الكهربائية

٤ - مفتاح قاطع (مغير)

٥ - نموذج لشكل الذبذبات المخمدة الناتجة

ويوصل ملف التوليف هذا بين شبكة الصمام الثلاثي والكاثود، بينما توصل دائرة التذبذب في دائرة الأنود كما في شكل (٢٣٣) .

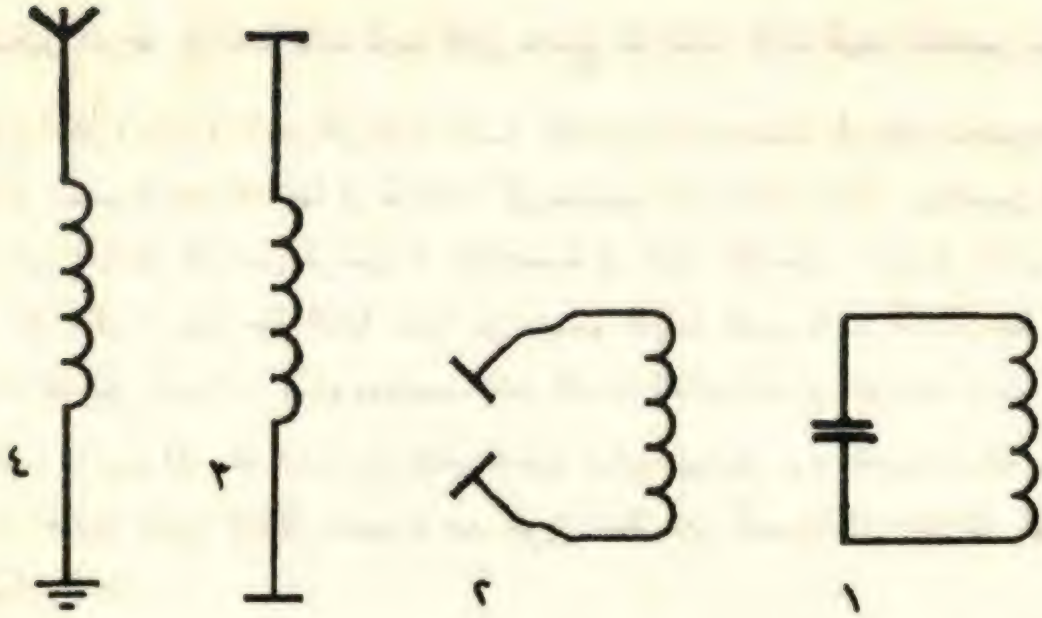
وعندما يقوم الصمام بشحن المكثف تتولد ذبذبة مخمدة في دائرة التذبذب . وتؤدي هذه الذبذبة الحادثة إلى نقل جزء من الجهد المتولد فيها إلى الملف المولف ( الملف القارن ) عن طريق الترابط الحثي الوثيق بينهما . ويؤثر الملف القارن بدوره على التيار الأنودي للصمام الثلاثي، وبفضل خاصية التكبير في هذا النظام فإن التيار الأنودي المتكون ، تزيد قيمته على قيمة التيار الأصلي الناتج من دائرة التذبذب . وينتقل جزء من طاقة دائرة التذبذب الموصلة بالأنود مرة أخرى إلى الملف القارن ( الملف المولف ) الموصل بالشبكة ، فترتفع درجة الذبذبات وتصل إلى اتساعها النهائي . وبذلك تتذبذب المجموعة ذبذبات مستمرة غير مخمدة وثابتة الاتساع .

ويتوقف التذبذب في هذه الدائرة على تردد القوة الدافعة الكهربائية التي تمدّها بالطاقة، وعلى



سعة المكثف ( س ) وعلى الحث الذاتي للملف ( ل ) . ويمكن حساب التذبذب طبقاً لقاعدة تومسون كما يلي :

$$\frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega$$



الشكل (٢٣٤) كيفية تحويل دوائر التذبذب المغلقة إلى دوائر مفتوحة

- ١ - دوائر تذبذب مغلقة .
- ٢ - لوحات المكثف مفصولة عن بعضها البعض .
- ٣ - دائرة تذبذب مفردة ( مشدودة )
- ٤ - دائرة تذبذب مفتوحة تستخدم كهوائي لجهاز الإرسال أو الاستقبال .

ودوائر التذبذب القسرية التي أشرنا إليها تسمى دوائر الرنين . وهي تستخدم لإشعاع طاقة كهرومغناطيسية تستخدم في عمليات الإرسال والاستقبال اللاسلكي ، وتضبط دوائر الرنين والملفات المولدة على تردد الرنين ، للحصول على أكبر قيمة ممكنة للتيار والجهد .

ومن مميزات دوائر توليد الذبذبات القسرية أن ترددها مستمر ولا يتعرض للاضمحلال ولا يتوقف على قيمة المكثف والملف الحثي بدائرة الرنين فقط ، وإنما يحدد ترددها كذلك تردد القوة الدافعة الكهربائية التي تمدّها بالطاقة المفقودة فيها أو تردد التيار الأنودي للصمام الثلاثي ، كما تلعب قيمة الملف المولف دوراً هاماً في تحديد التردد .



ويمكن الكشف عن المجالات الكهربائية والمغناطيسية الناتجة في هذه الدوائر بواسطة أجهزة قياس دقيقة جداً . وحتى يكون هذا الكشف دقيقاً يفضل أن تتم القياسات في الدائرة نفسها أو في أقرب مكان من الدائرة . ويرجع ذلك إلى أن نصف قطر الإشعاع الكهرمغناطيسي الناتج صغير للغاية ، كما أنه عند تحول دوائر التذبذب المغلقة إلى دوائر مفتوحة ، فإن الذبذبات الكهرمغناطيسية تتحول إلى موجات كهرمغناطيسية تشع إلى مسافات بعيدة في الفضاء ، انظر الشكل (٢٣٤) .

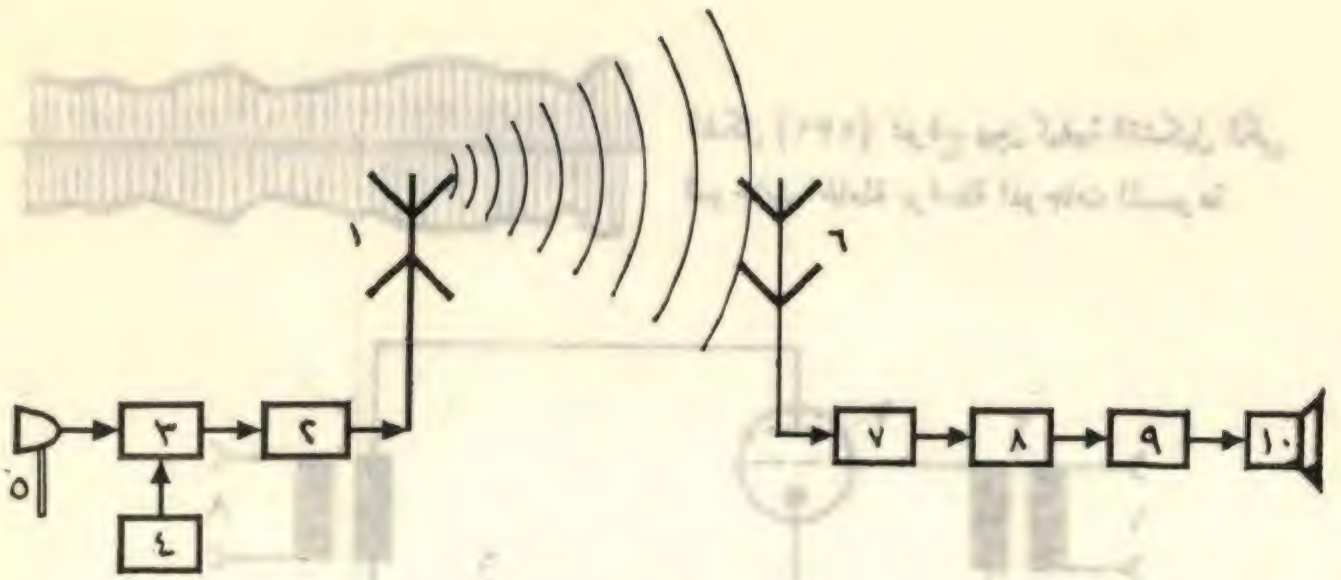
## (٢٢) تشكيل الموجات الحاملة ذات التردد العالي بإدماج الموجات ذات التردد المنخفض فيها :

يوضح شكل (٢٣٥) الأسس التي بنيت عليها عملية إرسال واستقبال الموجات الكهرمغناطيسية ذات الذبذبة المسموعة بعد إدماجها في موجات كهرمغناطيسية ذات ذبذبة عالية . ويتضمن الشكل (٢٣٥) بعض المراحل التي سبق شرحها ، والمستخدم في عملية الإرسال . المرحلة الأولى عبارة عن هوائى الإرسال ، والمرحلة الثانية عبارة عن مضخم للذبذبة المسموعة ، أما المرحلة الثالثة فهي مرحلة تشكيل الموجات الكهرمغناطيسية ذات الذبذبة العالية بإدماج الموجات ذات الذبذبة المسموعة فيها ، وفي المرحلة الرابعة يتم إنتاج الذبذبة العالية بواسطة مولد الذبذبة العالية ، ويتم في المرحلة الخامسة إنتاج الذبذبة المسموعة بعد تحويل المعلومات الصوتية إلى إشارات كهربائية بواسطة الميكروفون .

وفي الجانب الآخر من الشكل تظهر كيفية الاستقبال . فعند خروج الموجات ذات الذبذبة العالية حاملة الموجات ذات التردد المسموع المدججة فيها عن طريق هوائى الإرسال ، تسير هذه الموجات في الفضاء لمسافات بعيدة حاملة موجات الصوت معها ، وبعد اصطدام الموجات بهوائى جهاز الاستقبال المبين بالمرحلة (٦) ، حيث تضخم في المرحلة (٧) . وفي المرحلة الثامنة تتم عملية الكشف أو فك التشكيل لفصل الموجات ذات التردد المسموع عن الموجات الحاملة حيث يتم تضخيمها في المرحلة التاسعة ، ومن مضخم التردد المسموع إلى مكبرات الصوت المبينة في المرحلة رقم (١٠) لسماعها . ويمكن تعريف عملية تشكيل الموجات الكهرمغناطيسية ذات الذبذبة العالية في أبسط صورها بأنها الإمكانية الفنية لطبع الموجات الصوتية ذات التردد المنخفض على موجات كهرمغناطيسية ذات تردد عال بطريقة مناسبة . وبهذه الطريقة يمكن إرسال الإشارات ذات التردد المنخفض في الفضاء لمسافات بعيدة ، ثم استقبالها وسماعها من بعد بواسطة أجهزة الاستقبال .

ولشرح عملية الإدماج أو التشكيل والطرق المتبعة فيها ، يجب التفرقة بين التشكيل الكلى للموجات الكهرمغناطيسية الحاملة بإدماج التردد المسموع فيها وبين تشكيل التردد (الذبذبة) للموجات الكهرمغناطيسية الحاملة بإدماج الموجات ذات التردد المنخفض فيها .





الشكل (٢٣٥) أساس عملية الإرسال والاستقبال اللاسلكية

- |                                  |   |
|----------------------------------|---|
| ١ - هوائي جهاز الإرسال           | ٦ - هوائي جهاز الاستقبال                                    |
| ٢ - مرحلة التضخيم                | ٧ - مرحلة تضخيم الموجات ذات التردد العالي                   |
| ٣ - مرحلة تشكيل الموجات الحاملة  | ٨ - مرحلة فصل الموجات المسموعة عن الموجات ذات التردد العالي |
| ٤ - مرحلة توليد الذبذبات العالية | ٩ - مرحلة تضخيم الموجات المسموعة                            |
| ٥ - الميكروفون                   | ١٠ - مكبرات الصوت   |

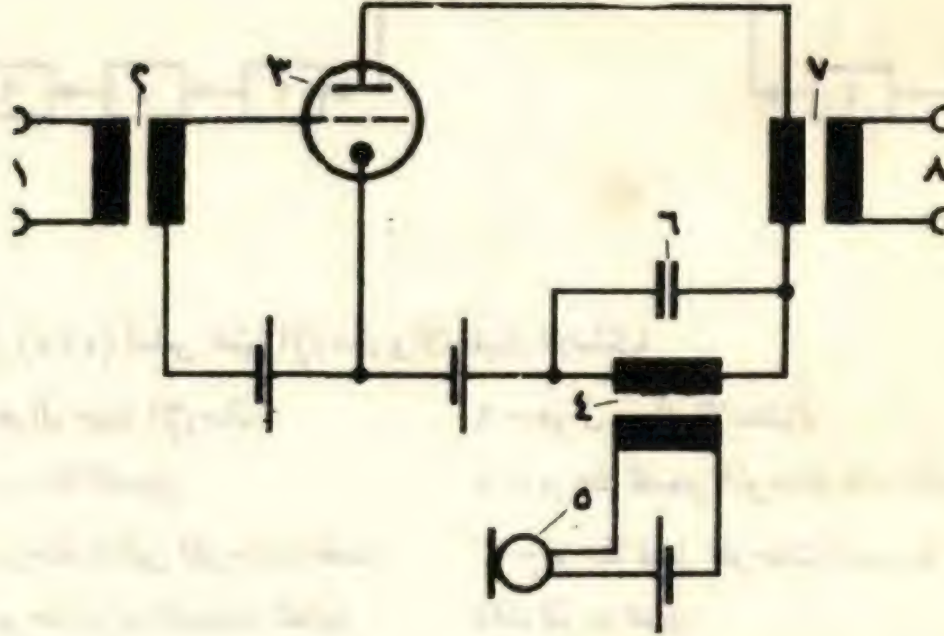
### (٢٣) تشكيل سعة الموجات الحاملة (التشكيل الكمي للموجة الحاملة) :

يتم إشعاع الذبذبة الكهرمغناطيسية غير المخمدة في الفضاء على هيئة موجات كهرمغناطيسية ذات سعة ثابتة . وقد سبق أن بينا في شكل (٢٣٢) تمثيلاً للموجات الصوتية ذات التردد المسموع الصادر من ميكروفون مثلاً . كما بينا في شكل (٢٣٣) تمثيلاً للموجات غير المخمدة الحاملة ذات التردد العالي . وعند إدماج الموجات الصوتية في الموجات الحاملة ، فإن سعة الموجات الحاملة غير المخمدة تتغير تبعاً لسعة الذبذبات الصوتية ، ونتيجة لهذا الإدماج نحصل على الموجة اللاسلكية المبينة في شكل (٢٣٦) .

ويمثل شكل (٢٣٧) رسماً تخطيطياً لإحدى الدوائر المستخدمة في مرحلة بسيطة من مراحل إدماج السعة للموجات الكهرمغناطيسية الصوتية الصادرة من ميكروفون ، مع الموجات الكهرمغناطيسية ذات الذبذبة العالية .



الشكل (٢٣٦) نموذج يبين كيفية التشكيل الكمي للموجات الحاملة بواسطة الموجات المسموعة



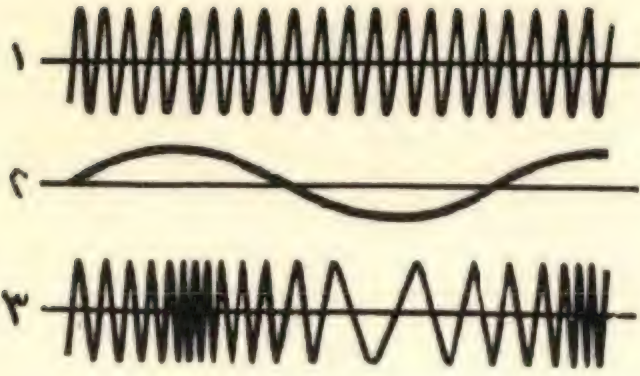
الشكل (٢٣٧) مكونات مرحلة التشكيل

- |  |   |
|--|---|
| ١ - دخول الموجات الحاملة ذات التردد العالي | ٥ - ميكروفون                                  |
| ٢ - محول دخول                              | ٦ - مكثف مانع لمرور الموجات ذات التردد العالي |
| ٣ - صمام ثلاثي                             | ٧ - محول خروج                                 |
| ٤ - محول الموجات المسموعة                  | ٨ - مرحلة التشكيل الكمي للموجات الحاملة       |

#### (٢٤) تشكيل تردد الموجات الحاملة :

عند استخدام الموجات ذات الذبذبة العالية جداً في حمل الموجات ذات التردد المسموع ، يفضل دائماً أن تتم عملية تشكيل تردد الموجات الحاملة ( التي لا يقل ترددها عن ٥٠ ميجاسيكل ) بدلا من عملية التشكيل الكمي بواسطة الموجات ذات التردد المسموع . وفي هذه الحالة تظل سعة الموجات الحاملة كما هي ( لا تتغير قيمة ذروتها ) ، وإنما تتغير فقط ذيلاتها نتيجة لجمع وطرح الذبذبات المسموعة منها ، كما هو مبين في شكل (٢٣٨) .





الشكل (٢٣٨) نموذج تشكيل تردد الموجات  
الحاملة بواسطة الموجات المسموعة  
١ - الموجات الحاملة  
٢ - موجات صوتية جيبية الشكل  
٣ - موجات حاملة تم تشكيل ترددها بواسطة  
الموجات السمعية .

## (٢٥) أجهزة استقبال الموجات ذات التردد العالي :

بعد تشكيل الموجات الكهرمغناطيسية ذات التردد العالي بإدماج الموجات الكهرمغناطيسية ذات التردد المسموع فيها ، ترسل في الفضاء لتصلطد بهوائى جهاز الاستقبال . وتتم هذه الموجات المشكلة ذات التردد العالي في دائرة هوائى جهاز الاستقبال على هيئة ذبذبات ذات جهد ضعيف جداً . ويصير تكبيرها على مرحلتين أو أكثر بمضخمات التردد العالي . ويقوم جهاز الاستقبال بعد ذلك باختيار محطة الإذاعة المطلوبة من بين الموجات الكهرمغناطيسية العديدة ذات الترددات المختلفة المنتشرة في الفضاء . وتستخدم لهذا الغرض دائرة كهربائية تسمى دائرة الاختيار . وتتكون من ملف ومكثف هوائى متغير . ويضبط تردد دائرة الاختيار بحيث يحدث التردد فيها رنيناً مع تردد الموجات المختارة المطلوب استقبالها . وبذلك يكون التيار المار في دائرة الرنين والمناظر للموجات المختارة أكبر ما يمكن ، بينما تكون التيارات الأخرى المناظرة لأي نوع آخر من الموجات المنتشرة في الفضاء أقل ما يمكن . ثم يمر هذا التيار المناظر للموجة المختارة إلى دوائر الفصل أو دوائر الكشف ، حيث تفصل الموجات الصوتية ذات التردد المسموع عن الموجات الحاملة ذات التردد العالي غير المسموع ، وتضخم بمضخمات التردد المنخفض ، ومنه إلى مكبرات الصوت . وتتم عملية الفصل عادة باستخدام مقوم إلكترونى ، أو مقوم ترانزستور أو صمام ثنائى شبه موصل .

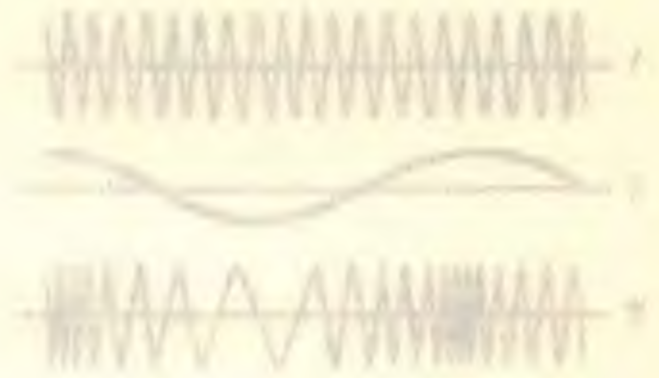
ويبين شكل (٢٣٩) رسماً تخطيطياً لعملية فصل الموجات ذات التردد المسموع من الموجات الحاملة بطريقة التقويم . وكذلك أجهزة تحويل الموجات المشكلة ذات التردد العالي إلى موجات ذات تردد مسموع .

## (٢٦) مدى إرسال الموجات ذات التردد العالي :

أدى تطور العلاقات بين هندسة الاتصالات اللاسلكية وبين تردد الموجات الكهرمغناطيسية المستخدمة في حمل الموجات الصوتية ، إلى معرفة المدى الذى يمكن أن تصل إليه الموجات ذات الترددات المختلفة .

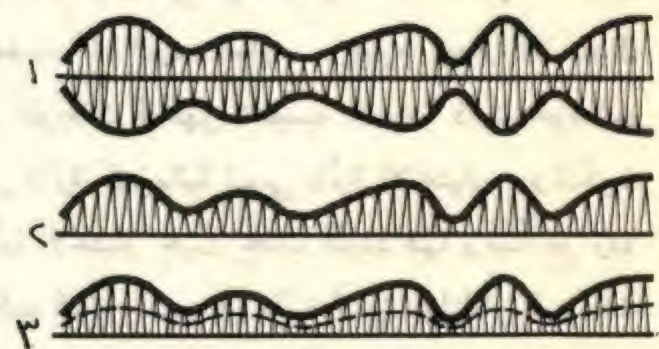


التي هي موجة صوتية عالية التردد (20000 هرتز)   
 كما يمكن أن تكون موجة صوتية منخفضة التردد   
 مثل موجة صوتية منخفضة التردد (20 هرتز)   
 أو موجة صوتية منخفضة التردد (20 هرتز)   
 أو موجة صوتية منخفضة التردد (20 هرتز)   
 أو موجة صوتية منخفضة التردد (20 هرتز)



التي هي موجة صوتية عالية التردد (20000 هرتز)

التي هي موجة صوتية عالية التردد (20000 هرتز)   
 كما يمكن أن تكون موجة صوتية منخفضة التردد   
 مثل موجة صوتية منخفضة التردد (20 هرتز)   
 أو موجة صوتية منخفضة التردد (20 هرتز)   
 أو موجة صوتية منخفضة التردد (20 هرتز)   
 أو موجة صوتية منخفضة التردد (20 هرتز)   
 أو موجة صوتية منخفضة التردد (20 هرتز)



الشكل (٢٣٩) كيفية فصل الموجات السمعية عن الموجات الحاملة بعد تشكيلها بطريقة التشكيل الكمي

- ١ - ذبذبة حاملة معدلة بطريقة التشكيل الكمي
- ٢ - ذبذبة حاملة تم تقويمها
- ٣ - قيمة متوسطة للذبذبة لا دورية تم تشكيلها بواسطة ذبذبة سمعية صادرة من مكبر الصوت.

ويمكن التعبير عن الموجات عادة إما بالترددات أو بطول الموجة .   
 وطول الموجة هو المسافة التي يمكن أن تقطعها الموجة خلال دورة واحدة .   
 ويجب في هذا المجال الرجوع إلى طرق الاتصال اللاسلكية المنصوص عليها في نهاية هذا الجزء .

نوع الموجة	متوسط طول الموجة	مدى التردد	نصف قطر مدى الإرسال	يتم الانتشار أساساً عن طريق
موجة طويلة جداً	٣٠ كم - ٣ كم	من ١٠ إلى ٣٠ كيلوسيكال	إلى أقصى مسافة ممكنة دون اضمحلال	الموجات الأرضية
موجة طويلة	٣ كم - ٣٠٠ متر	من ٣٠٠ إلى ٣٠ كيلوسيكال	حتى ١٠٠٠ كيلومتر	الموجات الأرضية
موجة متوسطة	٣٠٠ متر - ٣٠ متر	من ٣ إلى ٣٠٠ كيلوسيكال	حوالي ١٠٠ كيلومتر	الموجات الأرضية أثناء النهار
موجة قصيرة	٣٠ متر - ٣ متر	٣٠ إلى ٣٠٠ ميجاسيكال	إلى أقصى مسافة ممكنة ولكن يحدث لها اضمحلال	الموجات الفضائية الليل
موجات ذات تردد عال جداً	٣ متر - ٣٠ سم	٣٠٠ إلى ٣٠ ميجاسيكال	حتى ١٠٠ كيلومتر	انتشار شبه بصري ( مثل انتشار موجات الضوء )
موجات ديستورية	٣٠ سم فأقل	٣٠٠٠ - ٣٠٠ ميجاسيكال	حوالي ١٠٠٠ كيلومتر	انتشار شبه ضوئي

ملحوظة :

الكيلوسيكال = ١٠٠٠ ذبذبة في الثانية  
الميجاسيكال = ١,٠٠٠,٠٠٠ ذبذبة في الثانية .

وهناك علاقة وثيقة فيما بين البيانات المعطاة في الجدول ، أى بين متوسط طول الموجة ومدى التردد ، وسرعة الضوء .



ويمكن التعبير عن هذه العلاقة بالمعادلة الآتية :

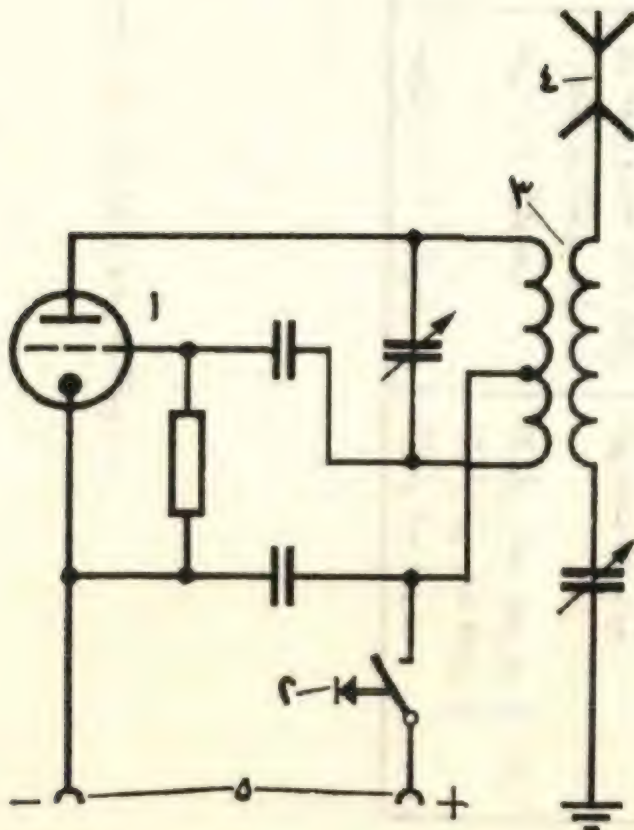
$$\frac{c}{\lambda} = \frac{\text{سرعة الضوء}}{\text{مدى التردد}} = \text{متوسط طول الموجة}$$

حيث أن سرعة الضوء تساوي ٣٠٠,٠٠٠ كم في الثانية .

## (٢٧) أجهزة الإرسال التلغرافي ذات التردد العالي :

يوجد العديد من التصميمات المختلفة لأجهزة الإرسال التلغرافي ذات التردد العالي . وتتراوح أحجامها بين حجم صندوق الكبريت وحجم عمارة ضخمة ، كما تتراوح قدرتها بين وات واحد ومئات الكيلو وات .

ويبين شكل (٢٤٠) رسماً تخطيطياً لدائرة مبسطة جداً من الدوائر المستخدمة في أجهزة الإرسال التلغرافي ، حيث يقوم مفتاح مورس بعملية قطع ووصل التيار الأنودي المرسل . أى أن المفتاح يقوم بتحويل المعلومات المكونة من نقط وشرط إلى إشارات كهربائية متقطعة . ونصف قطر مدى إرسال هذه الأجهزة صغير نسبياً ، لا يتعدى بضعة كيلو مترات ، وتستخدم لهذا الغرض الموجات ذات التردد المتوسط أو الموجات ذات التردد العالي .



الشكل (٢٤٠) جهاز إرسال تلغرافي

لإشارات بتردد عالي

١ - صمام ثلاثي

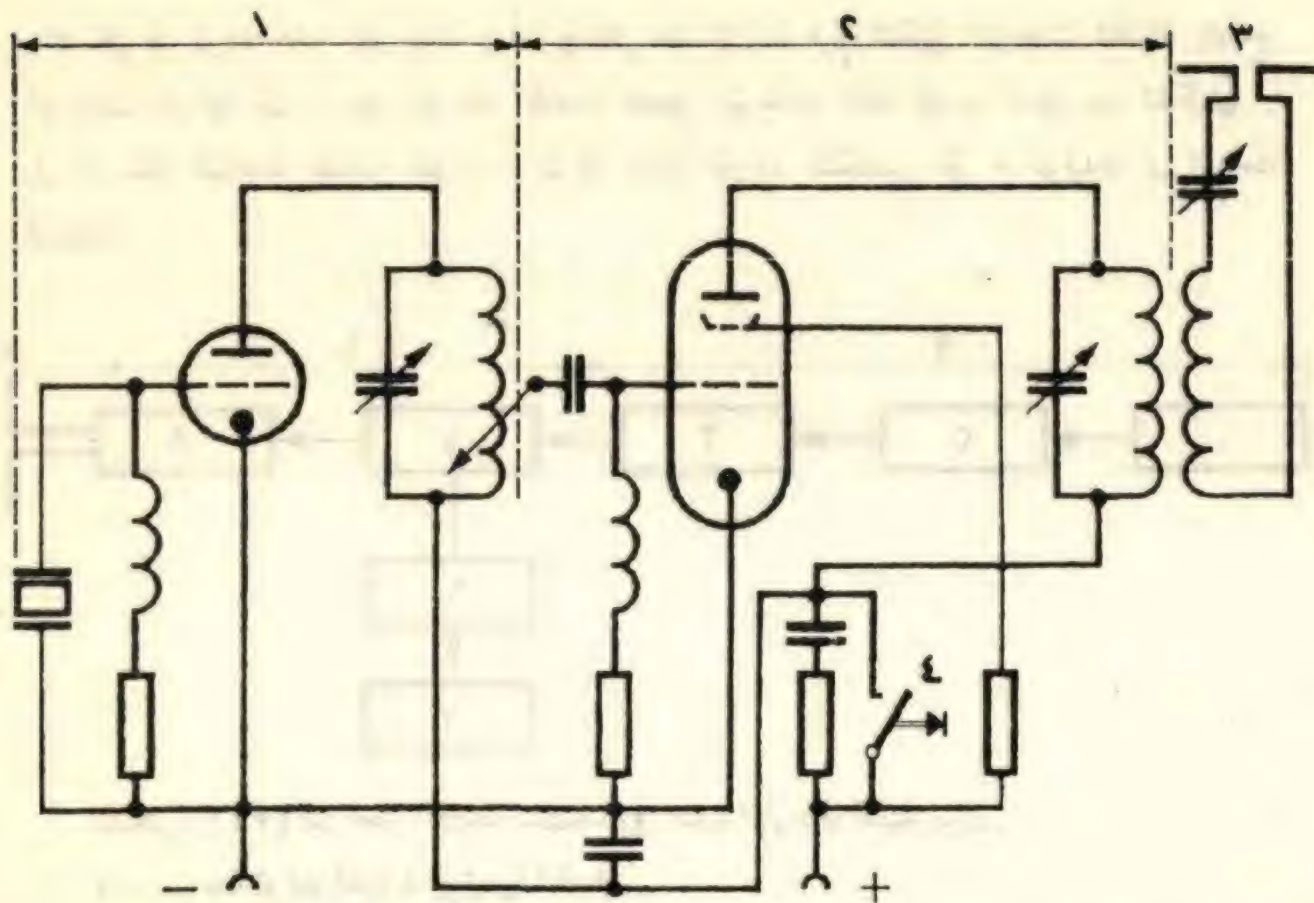
٢ - مفتاح مورس

٣ - دائرة تذبذب

٤ - هوائي جهاز الإرسال

٥ - إلى مصدر الطاقة الكهربائية .





الشكل (٢٤١) جهاز إرسال تلغرافى بالتحكم البلورى لعملية توليد التردد العالى جدا  
 ١ - مرحلة توليد الذبذبة الرئيسية ويتم التحكم فيها بواسطة بلورة  
 ٢ - مرحلة التضخيم ٣ - هوائى جهاز الإرسال ٤ - مفتاح مورس .

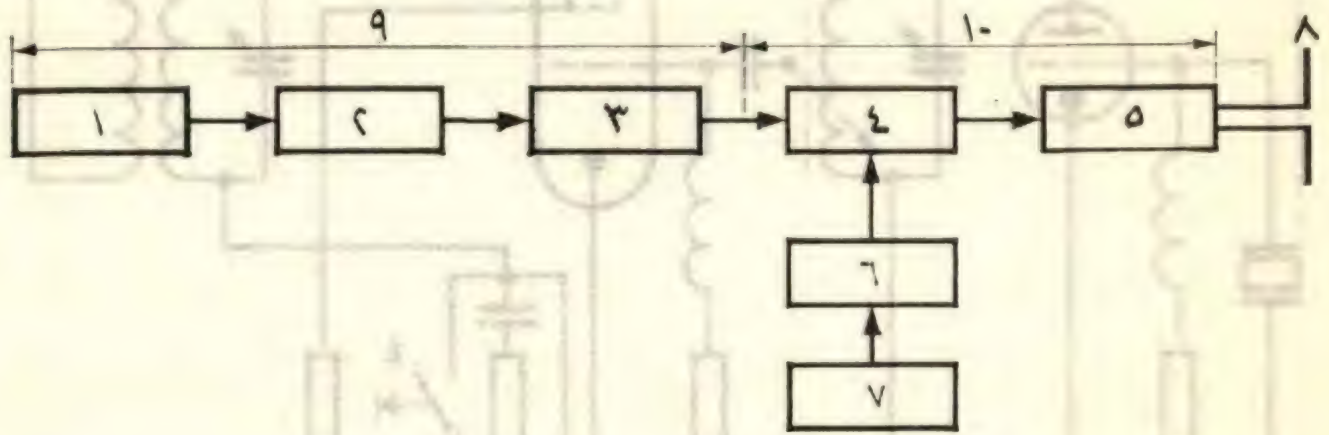
وبين شكل (٢٤١) رسما تخطيطيا لدائرة مستخدمة فى الإرسال التلغرافى ، ويفضل دائما أن يكون الإرسال التلغرافى ثابت التردد . ويستخدم التحكم البلورى حاليا فى تشغيل أجهزة الإرسال التلغرافى الهامة . ومن الشائع استخدام بلورة الكوارتز للتحكم فى التردد الناتج من أجهزة الإرسال ، وتوضع بلورة الكوارتز بين لوحين معدنيين ، ويحدث أقوى تذبذب وأدق اهتزاز للبلورة الكوارتز عندما يكون تردد القوة الدافعة الكهربائية المسلطة على اللوحين مساويا لتردد الطبيعى للبلورة ، أى عند حدوث حالة الرنين بينهما . وتتميز البلورة بحدّة رنينها وقلة اضمحلال اهتزازاتها . ويماب عليها ارتفاع ثمنها وسهولة كسرها .

#### (٢٨) أجهزة الإرسال التليفزيونى ذات التردد العالى :

يبين شكل (٢٤٢) رسما تخطيطيا للمراحل المستخدمة فى الإرسال التليفزيونى ، وهى نفس المراحل المستخدمة فى الاتصالات اللاسلكية عموما . فيتم فى المرحلة الأولى توليد الموجات الحاملة ذات الذبذبة العالية . وتضخم فى المرحلة الثانية ، وفى المرحلة الثالثة تتم عملية الضبط



والتحكم في تردد هذه الموجات . أما في المرحلة الرابعة فيتم تشكيل الموجات الحاملة بإدماج الموجات المرئية فيها . وفي المرحلة الخامسة تضخم الموجات ذات التردد العالي بعد تشكيلها . وفي المرحلة السادسة تضخم الموجات المرئية ذات التردد المنخفض التي تم توليدها في المرحلة السابقة .



الشكل (٢٤٢) المراحل المختلفة المستخدمة في عملية الإرسال التليفزيوني

- ١ - مرحلة توليد الذبذبة الرئيسية الحاملة
- ٢ - مرحلة تضخيم الإشارات ذات التردد العالي
- ٣ - مرحلة مضاعفة التردد .
- ٤ - مرحلة تشكيل الموجات الحاملة .
- ٥ - مرحلة تضخيم نهائية .
- ٦ - مرحلة تضخيم الإشارات ذات التردد السمعى .
- ٧ - مرحلة تحويل الأصوات إلى إشارات بتردد سمعى
- ٨ - هوائى جهاز الإرسال .
- ٩ - مرحلة توليد الذبذبة الحاملة وتضخيمها .
- ١٠ - مرحلة تشكيل الموجات الحاملة بواسطة الإشارات المسموعة

وقبل أن نتكلم عن مرحلة الإرسال التليفزيوني يجب أن نتناول بعض المشاكل الخاصة بعملية الإرسال ، وأهمها :

- ١ - مشكلة التزامن أو مشكلة ضبط التوقيت في عملية الإرسال والاستقبال التليفزيوني .
- ٢ - مشكلة انتشار الموجات التليفزيونية في خطوط مستقيمة وكيفية التغلب عليها باستخدام محطات الترحيل .
- ٣ - مشكلة إرسال الصوت والصورة وكيفية استقبالها معا .



( ١ ) مشكلة التزامن أو مشكلة ضبط التوقيت في عماية الارسال والاستقبال التليفزيوني :

يتم إسقاط صورة الجسم المراد إرساله على شاشة الإيكونوسكوب ( حاجر الموزايك ) بعد تسليط الإضاءة المناسبة على هذا الجسم .

وكما سبق شرحه ، تتكون شاشة الإيكونوسكوب من ملايين الخلايا الكهروضوئية ، وكل خلية كهروضوئية من هذه الخلايا عبارة عن مكثف . وعند سقوط الصورة على الشاشة تشحن هذه الملايين من المكثفات بواسطة الخلايا الضوئية . ويعتمد تيار الشحن في كل مكثف على شدة الإضاءة الواقعة على الخلية الكهروضوئية المناظرة له . أى أن التيار يعتمد على شدة الإضاءة الواقعة على هذه النقطة من صورة الجسم التى يقع تحتها هذا المكثف . وبذلك تترجم الصورة إلى ملايين النقط المتلاصقة ، التى تمثلها ملايين المكثفات المشحونة بتيارات تتناسب شدتها مع شدة الإضاءة الواقعة على كل نقطة من الصورة . ولإرسال هذه الصورة يولد بجهاز الإرسال شعاع إلكترونى يتم توجيهه بكيفية معينة ، بحيث يقوم بمسح الشاشة نقطة وراء نقطة ، وصفا إثر صف . وللقيام بعملية التوجيه بطريقة سليمة ومضبوطة وبسرعة معينة يزود جهاز الإرسال بملفات حارفة ( ملفات موجهة ) توضع فى طريق الشعاع الإلكتروني ويسلط عليها جهد له شكل أسنان المنشار لتوجيه هذا الشعاع أفقيا ورأسيا بنظام معين وبسرعة معينة .

وعندما يقع الشعاع على المكثفات المختلفة ، فإنه يؤدي إلى تفريغ هذه المكثفات الواحد تلو الآخر وبترتيب معين . وينتج من كل مكثف تيار تفريغ تتناسب شدته مع شدة الإضاءة الواقعة على هذه النقطة من الصورة التى تناظر هذا المكثف ، ثم ترسل تيارات التفريغ هذه وبنفس الترتيب إلى جهاز الاستقبال بعد تكبيرها وحملها بواسطة موجات ذات تردد عال .

ولضمان إرسال واستقبال تيارات التفريغ للمكثفات المختلفة بنفس الترتيب تستخدم بأجهزة الإرسال دوائر نبضية أو دوائر ضمان ضبط التوقيت ، تقوم بتجزئة تيارات التفريغ الناتجة ، وإرسالها على هيئة نبضات متتالية ، وبترتيب معين ، للحصول فى جهاز الاستقبال على صورة مماثلة للصورة المرسله . فإذا قام الشعاع فى جهاز الإرسال بمسح أول نقطة فى الصف العلوى الأفقى للصورة من اليسار فإن تيار التفريغ الناتج من أول مكثف يرسل ليتم استقباله فى جهاز الاستقبال التليفزيونى . ويسلط هذا التيار على الملفات الحارفة فى جهاز الاستقبال ليوجه الشعاع الإلكتروني الموجود فى هذا الجهاز لإضاءة النقطة العليا اليسرى فى الصف الأفقى العلوى لشاشة الجهاز . وهكذا نقطة وراء نقطة حتى نهاية الصف الأفقى الأول . وعندئذ ينخفض الجهد الحارفى ويتحرك الشعاع الإلكتروني بسرعة ليقوم بمسح الصف الأفقى التالى من اليسار إلى اليمين . وهكذا حتى ينتهى مسح الشاشة ويتحرك الشعاع الإلكتروني فى جهاز الاستقبال بنفس الطريقة وبنفس التزامن الشعاع الإلكتروني فى جهاز الإرسال ، وذلك عن طريق دوائر ضبط التوقيت الموجودة



فيه . وبذلك نحصل على صورة مماثلة تماما للصورة المرسله من حيث الشكل وشدة الإضاءة والترتيب .

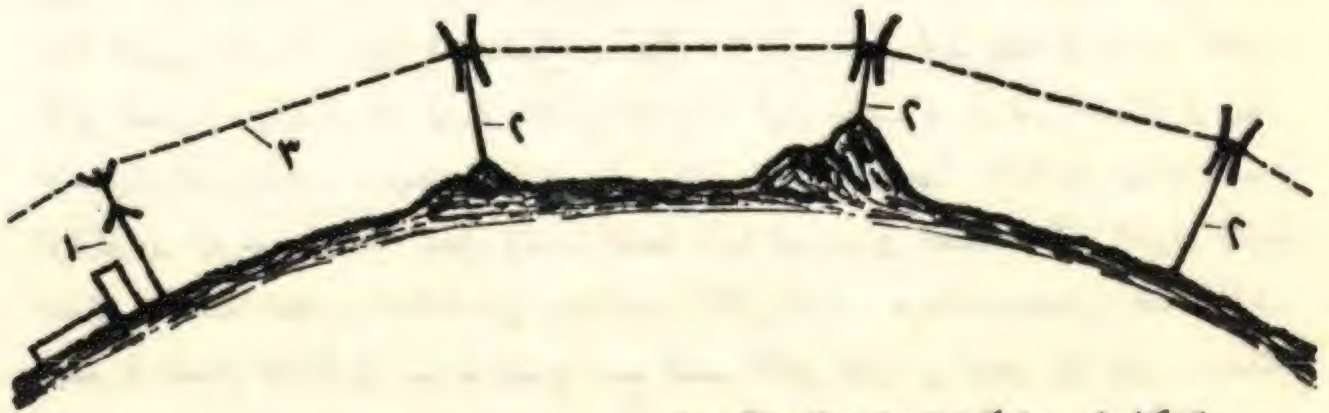
(١) مشكلة انتشار الموجات التليفزيونية في خطوط مستقيمة وكيفية التغلب عليها باستخدام محطات الترحيل :

هناك مشكلة مرتبطة بالإرسال التليفزيوني سبق أن أشرنا إليها ، وهي أن الموجات العالية التردد جدا تسلك سلوكا شبه بصري ، أي أن الموجات تظهر كما لو أنها موجات ضوئية وليست موجات حاملة ، وتزيد هذه الظاهرة وضوحا بازدياد تردد الموجات . ومن خصائص هذه الموجات أنها تنتشر في خطوط مستقيمة .

ومعنى ذلك أن الموجات الكهرمغناطيسية الخاصة بالتليفزيون والمنبعثة من هوائى أجهزة الإرسال ، تسير في خطوط مستقيمة ، وأنها لا تسير في منحني مواز لسطح الأرض ، أى أن هذه الموجات تبتعد عن الأرض كلما زادت المسافة بين محطة الإرسال وبين أجهزة الاستقبال ، لذلك يجب أن يكون هوائى أجهزة الاستقبال أعلى وأعلى كلما بعدت المسافة عن محطات الإرسال . وحيث أن ارتفاع الهوائى لابد أن يكون محدوداً لاعتبارات كثيرة من ناحية التصميم ومن الناحية الاقتصادية ، لذلك تستخدم محطات تسمى محطات الترحيل ، تعمل على جعل الموجات العالية التردد جدا والمستخدمة في الإرسال التليفزيوني قريبة من الأرض .

وتنشأ هذه المحطات على مسافات تتراوح بين ٦٠ كيلو متر و ٨٠ كيلو متر .

ويمكن توجيه هذه الموجات باستخدام هوائيات ذات تصميم خاص ( هوائيات على شكل قطع ناقص غالبا ، حيث أن الضوء يوجه بواسطة مرايا ) أى أن محطات الإرسال التليفزيوني تشع الموجات على هيئة موجات كهرمغناطيسية موجهة . وتقوم محطات الترحيل باستقبالها وتضخيمها ثم إعادة إشعاعها ، بحيث تبقى هذه الموجات موازية لسطح الأرض كلما أمكن ، وبذلك يمكن استقبالها من مسافات بعيدة ، انظر شكل (٢٤٣) الذى يبين كيفية وضع محطات الترحيل :



الشكل (٢٤٣) كيفية عمل محطات الترحيل

٣ - الموجات المنتشرة

٢ - محطة ترحيل

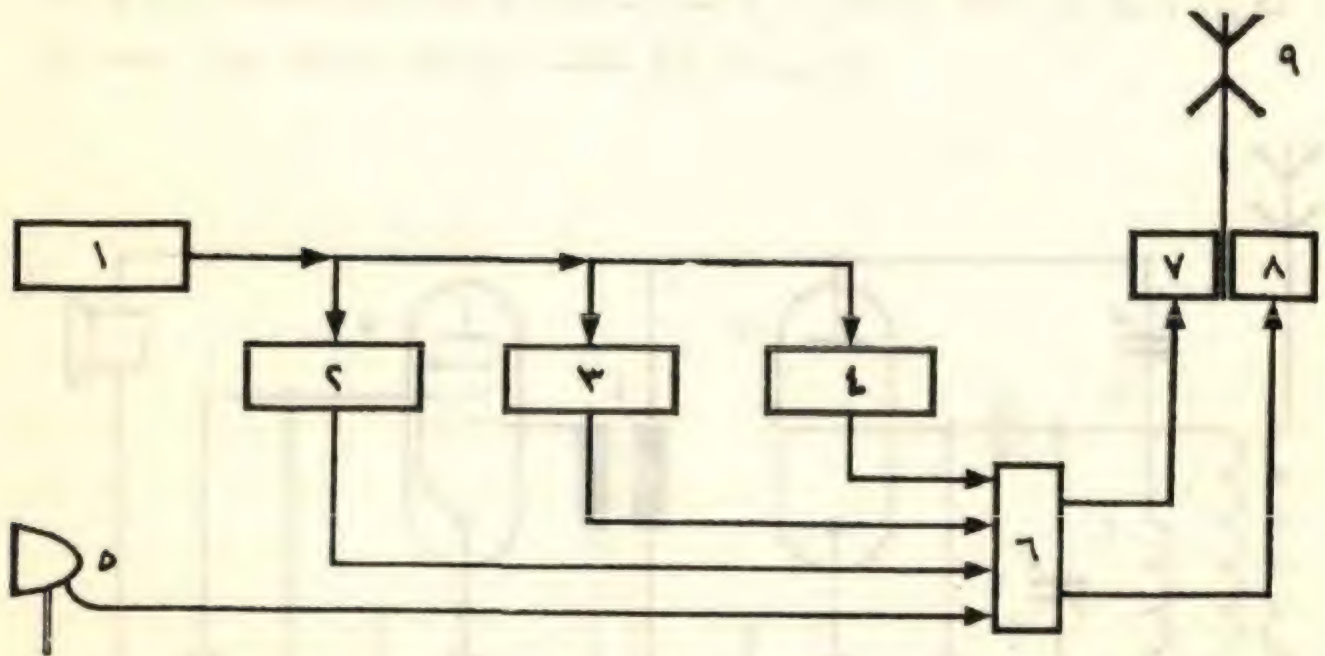
١ - محطة إرسال



( ٣ ) مشكلة إرسال الصوت والصورة وكيفية استقبالهما معا :

يوضح شكل (٢٤٤) رسماً تخليطياً لأحد أجهزة الإرسال التليفزيوني .

وهو يتكون من جهازى إرسال بهما مصدر مشترك للطاقة وهوائى مشترك . يستخدم أحد هذين الجهازين فى إرسال الموجات الصوتية الخاصة بالصورة بعد إدماجها فى موجات حاملة ذات تردد عال جدا ، وقد سبق شرح هذا الجهاز ، فى حين يستخدم الجهاز الآخر فى إرسال الموجات الصوتية المسموعة بعد إدماجها فى موجات حاملة ذات تردد عال . والتصميم الأساسى لهذا الجهاز الأخير لا يختلف كثيرا عن تصميم أجهزة الإرسال ذات التردد العالى المستخدمة فى الراديو ، غير أن التردد المستخدم فى إرسال الصوت فى الأجهزة التليفزيونية يختلف عن التردد المستخدم فى أجهزة الراديو العادية بحوالى ٥,٥ ميغا سيكل إلى ٦,٥ ميغاسيكل حتى لا يتداخل معها .



الشكل (٢٢٤) رسم تخطيطي لجهاز إرسال تليفزيوني

- |                          |                  |                        |
|--------------------------|------------------|------------------------|
| ١ - مولد النبضات         | ٤ - ماسح للشرائح | ٧ - جهاز إرسال الصورة  |
| ٢ - آلة تصوير ( كاميرا ) | ٥ - ميكروفون     | ٨ - جهاز إرسال الصوت   |
| ٣ - ماسح للفيلم          | ٦ - مرحلة الخلط  | ٩ - هوائي جهاز الإرسال |

(٢٩) أجهزة استقبال موجات الراديو ذات التردد العالي :

سبق أن ذكرنا عند الكلام عن عملية إدماج الموجات ، أنه يجب فصل الموجات الحاملة ذات التردد العالي عن الموجات الصوتية ذات التردد المسروع ، في أجهزة الاستقبال عن طريق عملية التقويم حتى يمكن سماعها . وتستخدم لهذا الغرض أنواع شتى من المقومات .

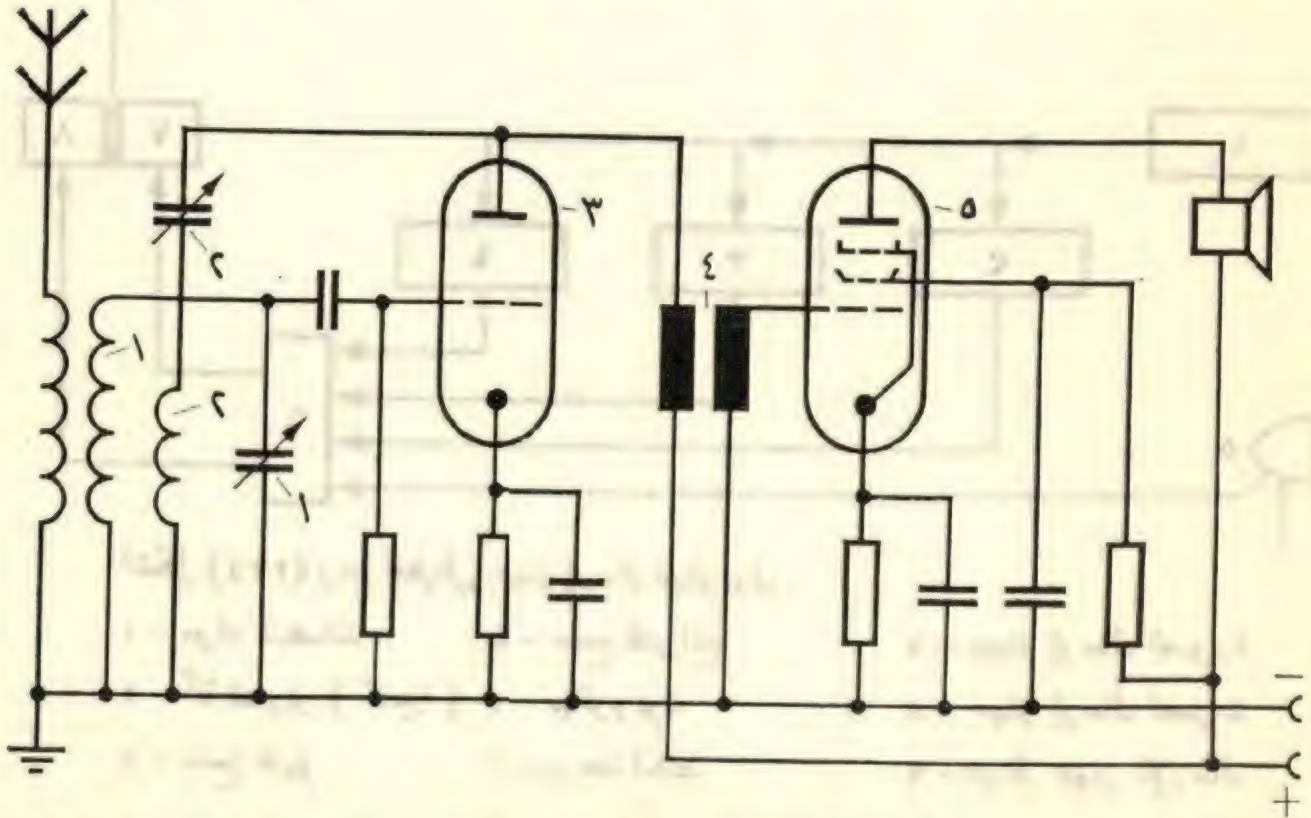


تم عملية فصل الموجات المسموعة عن الموجات الحاملة في الأجهزة القديمة على مرحلة واحدة . وقد أطلق على مثل هذه الأجهزة اسم « المستقبل المباشر » و « أجهزة الاستقبال ذات الدائرة الوحيدة » .

أما أجهزة الاستقبال الحديثة فتم فيها عملية التحويل ( الفصل ) على مرحلتين . وتسمى « أجهزة الاستقبال السوبر هترودين » . وفيما يلي شرح موجز لخصائص كل نوع منهما .

#### أولاً : أجهزة الاستقبال المباشر ذات الدائرة الوحيدة :

يبين شكل ( ٢٤٥ ) فكرة تصميم جهاز استقبال مباشر ، وتتميز هذه الأجهزة بأن بها دائرة وحيدة تقوم بعملية التقويم والتضخيم معا . ويقوم الصمام الثلاثي الكاشف الموجود في الدائرة بتوليد تيار نبضي في دائرة الشبكة ، نتيجة لعملية التقويم التي يقوم بها . وهذا التيار المار في دائرة الشبكة يتكون عادة من ثلاث مركبات : هي مركبة تيار ذات تردد عال ، ومركبة تيار مستمر ، ومركبة تيار ذات تردد منخفض ( تردد مسموع ) .



الشكل ( ٢٤٥ ) رسم تخطيطي لجهاز استقبال مباشر بدائرة وحيدة يستخدم فيها صمام ثلاثي وآخر خماسي

- |  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| ١ - دائرة التذبذب المكونة من ملف ومكثف متغير | ٣ - صمام ثلاثي                       |
| ٢ - دائرة التغذية المرتدة ( المرتجعة )       | ٤ - محول للإشارات ذات التردد المنخفض |
| المكونة من ملف ومكثف متغير                   | ٥ - صمام خماسي                       |



وتمر مركبة التيار ذات التردد العالى خلال المكثف المتصل بدائرة الشبكة فى الصمام الثلاثى ، بينما تمر المركبتان الأخيرتان فى المقاومة الموجودة فى دائرة الشبكة . وعلى ذلك ينشأ خلال مقاومة الشبكة جهد متغير حسب ارتفاع وانخفاض التيار ذى التردد السمعى المار فيها . ويؤثر هذا الجهد المتغير على التيار المار فى دائرة الأنود ، ويتغير بالتالى تبعاً لتغيره ، وتحدث به نبضات أو موجات سمعية التردد مضخمة، ومماثلة للموجات الصوتية الأصلية . وتتم عملية التكبير فى الصمام الثلاثى كالاتى :

يمر التيار ذو التردد السمعى فى مقاومة الشبكة فيظهر مضخماً فى دائرة الأنود . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن مركبات التيار ذات التردد العالى المار فى المكثف الموجود فى دائرة شبكة الصمام الثلاثى ، يتم تكبيرها هى الأخرى فى دائرة الأنود ، وعلى ذلك فإن التيار الأنودى يحتوى على تيار ذى تردد عال بالإضافة إلى التيار ذى التردد السمعى . ويفيد التيار ذو التردد التالى بعد تكبيره فى زيادة حساسية جهاز الاستقبال، كما يفيد أيضاً فى عملية الانتقال لمروره عن طريق دوائر التغذية المرتدة كما هو مبين بالشكل .

وتبدأ عملية الاستقبال فى هذه الأجهزة باصطدام الاهتزازات العالية التردد التى يلتقطها الهوائى. ثم يسلط الجهد الناتج على دائرة المدخل المولفة على الإشارة المختارة ذات التردد العالى، حيث يتم تكبيرها فى هذه الدائرة بواسطة المجال المغنطيسى للملف المولف . وبذلك تخدم دائرة المدخل المولفة فى عملية الاختيار الابتدائى، وفصل إشارة المحطة المطلوبة عن المحطات الأخرى ، بالإضافة إلى عملية التكبير الأولية. وفى بعض ظروف معينة يصبح المكثف المتغير لدائرة التغذية والملف المولف فى حالة من الإثارة الذاتية بحيث يعمل جهاز الاستقبال كما لو كان جهاز إرسال .

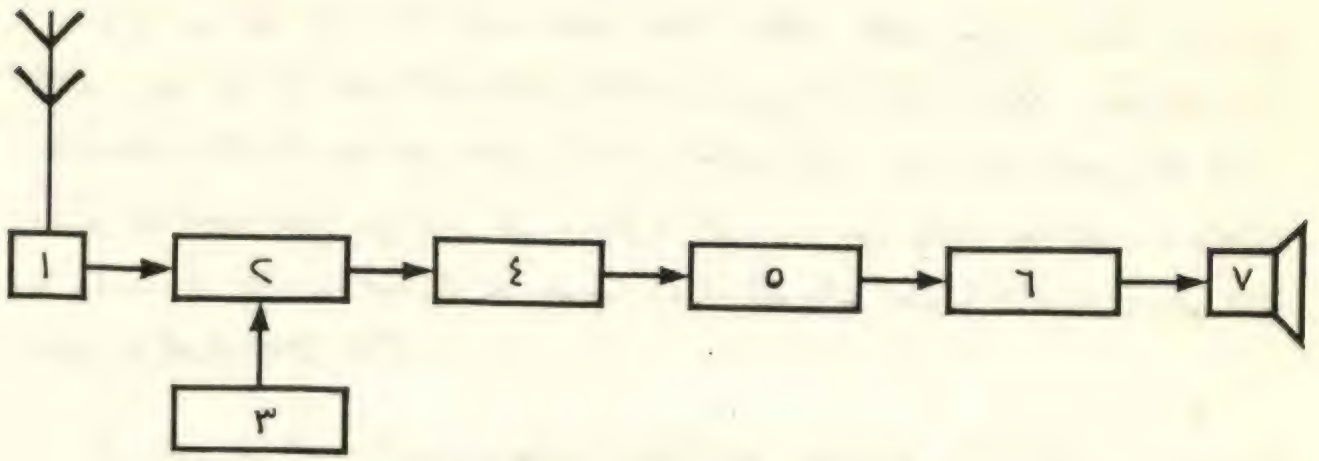
#### ثانياً : أجهزة الاستقبال السوبرهترودين ( الفعل المتغير ) :

ينبنى عمل جميع أجهزة الاستقبال الحديثة على فكرة السوبر هترودين التى تتلخص فى أن هذه الأجهزة تحول الإشارات العالية التردد المستقبلية إلى إشارات ذات تردد بينى ثابت ( أى تحولها إلى إشارات لها تردد يقع بين تردد الموجات الحاملة وتردد الموجات المسموعة ) . مع ملاحظة أن التردد البينى يعتبر تردداً عالياً بالرغم من أن تردده أقل من تردد الموجة الحاملة .

وبين شكل (٢٤٦) رسماً تخطيطياً يوضح مراحل عمل جهاز استقبال سوبر هترودين .

ومن مميزات هذه الأجهزة استخدام عدد كبير من مراحل التكبير والدوائر المولفة مما يزيد من حساسية الجهاز ودقة الاختيار والثبات ، وهى فى ذلك تفوق أجهزة الاستقبال المباشر .





الشكل (٢٤٦) رسم تخطيطي لجهاز استقبال سوبر هترودين

- |                          |  |
|--------------------------|--|
| ١ - دائرة الرنين         | ٥ - مرحلة فصل الموجات السمعية عن الموجات |
| ٢ - دائرة الخلط          | الحاملة                                  |
| ٣ - مذبذب                | ٦ - مضخم الإشارات المسموعة .             |
| ٤ - مرحلة التذبذب البيئي | ٧ - مكبر الصوت                           |

وبالرجوع إلى الشكل (٢٤٦) نجد أنه في المرحلة الأولى تسلط الجهود العالية التردد التي يلتقطها الهوائي على دائرة المدخل المتذبذبة، حيث يتم اختيار الموجة المطلوبة. وفي المرحلة الثانية تخطط الإشارة الداخلة العالية التردد مع الإشارة المتولدة بواسطة جهاز الاستقبال السوبر هترودين ذات التردد العالي، والتي يمكن إنتاجها في المرحلة الثالثة. وبعد تركيب الإشارتين معا في المرحلة الثانية ( مرحلة الخلط ) تمر الإشارتان المركبتان إلى المرحلة التالية رقم (٤) التي تسمى مرحلة التردد المتوسط والتي فيها يغير تردد الموجات الحاملة التي لم تفصل بعد إلى موجة بتردد قيمته ٤٦٨ كيلو سيكل في الثانية. ثم يسمح للإشارة التي تحمل هذا التردد البيئي بعد تكبيرها بالمرور إلى المرحلة ( ٥ ) لتحويلها إلى إشارة ذات تردد مسموع، وهذه المرحلة تسمى مرحلة الكشف أو الفصل. ويستخدم في هذه المرحلة عدد من المرشحات يسمح بمرور موجات ذات نطاق معين من التردد فقط، وبعد ذلك تكبر الإشارة ذات التردد السمعى مرة أو مرتين في المرحلة ( ٦ ). ويستخدم لذلك مضخات للإشارات ذات التردد المنخفض، ومنها إلى المرحلة ( ٧ ) أو إلى مكبر الصوت.

وللمرشحات المستخدمة في هذا المجال أهمية خاصة. وتتكون عادة من دائرتي تذبذب مولفتين معا بطريقة معينة، بحيث تسمح فقط بمرور موجات ذات نطاق معين من التذبذبات. وتعتبر قيمة التردد البيئي المتوسطة، ٤٦٨ كيلوسيكال، من أهم العوامل التي تساعد على استخدام مثل هذه المرشحات بكفاءة، والتي تسمح بمرور الموجات ذات النطاق المعين من التردد، وتمنع



ماعداهها من الإشارات ذات الترددات المختلفة . ويؤدي هذا بالتالى إلى زيادة الحساسية والثبات لهذه الأجهزة .

### (٢٠) أجهزة الاستقبال التليفزيونى :

سبق أن أوضحنا أن أجهزة الإرسال التليفزيونى تتكون من جهازى إرسال لهما مصدر مشترك للطاقة وهوائى مشترك . ويستخدم أحدهما الجهازين فى إرسال الموجات المرئية بعد إدماجها فى موجات حاملة ذات تردد عال جدا . بينما يستخدم الجهاز الآخر فى إرسال الموجات الصوتية المسموعة بعد إدماجها فى موجات حاملة ذات تردد عال أيضا .

وبين شكل (٢٤٧) أساس تصميم جهاز استقبال تليفزيونى . ومن الرسم يتضح أن أجهزة الاستقبال التليفزيونى تتكون أيضا من جهازى استقبال ، لهما هوائى مشترك ومضخم أولى مشترك . وتمر الموجات الحاملة للصوت والضوء ، بعد اصطدامها بالهوائى المشترك فى جهاز الاستقبال ، إلى ملفات الهوائى ، ومنها إلى دوائر الاختيار ، حيث يتم اختيار الموجات المطلوب تضخيمها .

ثم تفصل الموجات الحاملة للإشارات الصوتية عن الموجات الحاملة للإشارات الضوئية ، وتدخل الموجات الصوتية على جهاز استقبال صوتى ، بينما تدخل الموجات الضوئية على جهاز استقبال صوتى .

وتصميم جهاز الاستقبال الصوتى المستخدم فى أجهزة التليفزيون يشبه إلى حد كبير تصميم أجهزة استقبال الراديو التى سبق شرحها .

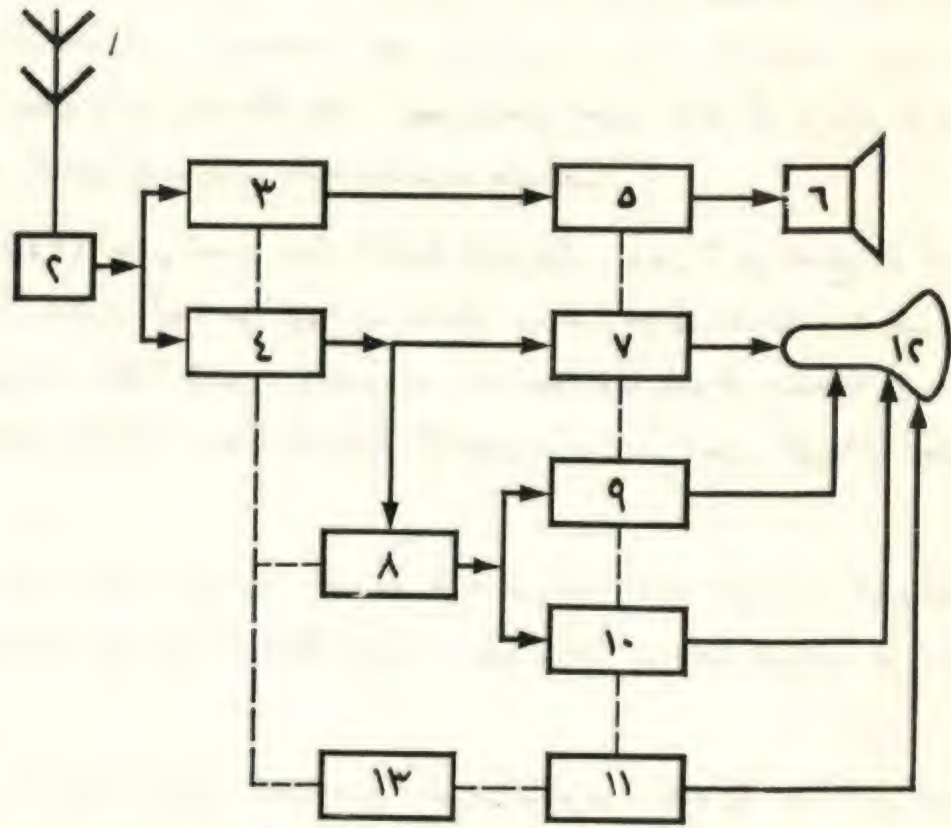
أما تصميم أجهزة الاستقبال الصوتى فهى لا تختلف عن أجهزة الإرسال التليفزيونى .

ونضيف هنا أنه توجد كذلك بأجهزة الاستقبال التليفزيونى ملفات حارفة، أو ملفات كاسحة تغذى بجهد متردد له شكل أسنان المنشار . ويسلط هذا الجهد ( كما سبق شرحه ) على الملفات الحارفة الرأسية التى تسبب انحراف الشعاع الإلكترونى الكاسح من اليسار إلى اليمين مثلا . وعند وصول الشعاع إلى نهاية الصف ينخفض الجهد المسلط على الملفات الحارفة الرأسية ، ويسلط على الملفات الحارفة الأفقية جهد يؤدي إلى سقوط الشعاع إلى الصف التالى، ثم يعود سريعا إلى الجانب الأيسر . وفى هذه اللحظة يسقط الجهد على الملفات الحارفة الرأسية مرة ثانية ، حتى يقوم الشعاع بمسح (إنارة) الخط الأفقى التالى من اليسار إلى اليمين نقطة وراء نقطة، وهكذا ، وبنفس الترتيب ، وبنفس شدة التيار الموجود فى كل نقطة من نقط شاشة جهاز الإرسال .

وتقوم دوائر ضبط التوقيت ( الدوائر النابضة ) - التى سبق شرحها - بعملية التزامن المطلوب بين الشعاع الإلكترونى فى جهاز الإرسال والشعاع الموجود فى جهاز الاستقبال ، وبذلك نحصل على صورة متماثلة مع الصورة المرسله . وبين شكل (٣٤٨) جهدا مترددا له

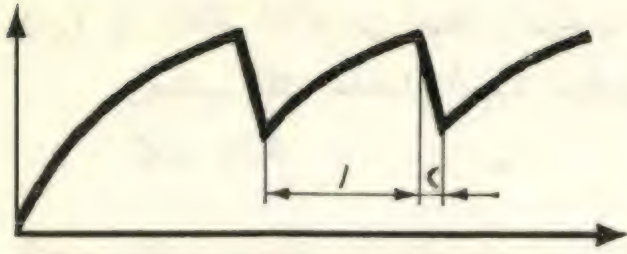


شكل أسنان المنشار . وللمحصل على صورة متحركة كاملة في التليفزيون ، ( كما يحدث في الفيلم السينمائي ) فإنه يجب عرض أكثر من ١٦ صورة في الثانية على العين البشرية . ويعرض جهاز التليفزيون ٢٥ صورة في ثانية .



الشكل (٢٤٧) رسم تخطيطي لمراحل جهاز استقبال تليفزيوني :

- ١ - هوائى جهاز الاستقبال
- ٢ - مضخم الإشارات ذات التردد العالى
- ٣ - مرحلة فصل الموجات السمعية ( الصوت ) عن الموجات الحاملة
- ٤ - مرحلة فصل موجات الإشارات البصرية ( الصورة ) عن الموجات الحاملة .
- ٥ - مضخم الإشارات ذات التردد المنخفض .
- ٦ - مكبر الصوت .
- ٧ - مضخم نبضات التزامن .
- ٨ - مضخم عملية التزامن
- ٩ - مولد جهد الملفات الحارفة الأفقية لتوجيه الشعاع رأسيا .
- ١٠ - مولد جهد الملفات الحارفة الرأسية لتوجيه الشعاع أفقيا
- ١١ - مولد الذبذبة العالية .
- ١٢ - صمام الصورة
- ١٣ - مصدر الطاقة الكهربائية



الشكل (٢٤٨) نموذج لجهد له شكل أسنان  
المنشار يستخدم في توجيه الشعاع الإلكتروني  
١ - الاتجاه الأمامي للشعاع .  
٢ - الاتجاه الخلفي للشعاع ( الذي يؤدي  
إلى سقوطه )

وحيث أنه يوجد بالتليفزيون ٦٢٥ خطاً مسطوحاً أفقياً للصورة الواحدة ، فإن إرسال ٢٥ صورة في الثانية ؛ يعنى أن الشعاع الإلكتروني يجب أن يمسح ٦٢٥ خطاً ، صفاً وراء صف في  $\frac{1}{60}$  من الثانية . وللحصول على صورة جيدة ، فإن الشعاع الإلكتروني لا يقوم بمسح الخطوط بطريقة متتالية ، أى ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ .. إلخ ، على التوالي ، وإنما يقوم بعملية مسح ، تسمى المسح المتشابك . أى يمسح الخطوط ١ ، ٣ ، ٥ ... إلخ ، ثم ٢ ، ٤ ، ٦ .. إلخ . وبهذه الكيفية يمكن تحاشي الارتعاش الذي يحدث نتيجة للمسح المتوالى .

### (٣١) هندسة الرادار :

#### أساسيات هندسة الرادار :

تعنى كلمة الرادار الكشف وتحديد المواقع ، أو تحديد المدى بواسطة موجات الراديو . والرادار هو نظام من الأجهزة الإلكترونية الدقيقة . ويتوقف عمله على أن معظم الأجسام تستطيع أن تعكس كمية كافية من طاقة الأمواج اللاسلكية القصيرة التى تصطدم بها . وعلى ذلك تتلخص عمل أجهزة الرادار فى إرسال الموجات اللاسلكية واستقبالها بعد اصطدامها بالأجسام . ويقوم جهاز الإرسال فى الرادار بإطلاق نبضات من الأمواج اللاسلكية البالغة القصر ، مثل الموجات الديسمرية أو الموجات السنتيمترية . وترسل النبضات على فترات قصيرة جداً وفى تتابع ثابت . وعلى سبيل المثال ، يمكن أن تكون مدة استمرار النبضة مساوية لنصف الفترة التى تفصل بين النبضة والنبضة التالية لها . ويطلق قطار الموجات ( سلسلة النبضات ) إلى الفضاء فى اتجاهات معينة ، وعندما تقابل هدفاً فإنها تنعكس ويلتقطها جهاز الاستقبال . أى أن هوائى جهاز الاستقبال يقوم بالتقاط صدى النبضات المرتدة . ويمكن تحديد بعد الهدف عن جهاز الإرسال بحساب الزمن المنقضى بين إرسال الموجة واستقبالها ( بمعلومية سرعة انتقال الأمواج اللاسلكية ) .

ومن الصعوبات التى صاحبت تصميم الرادار ما يأتى :

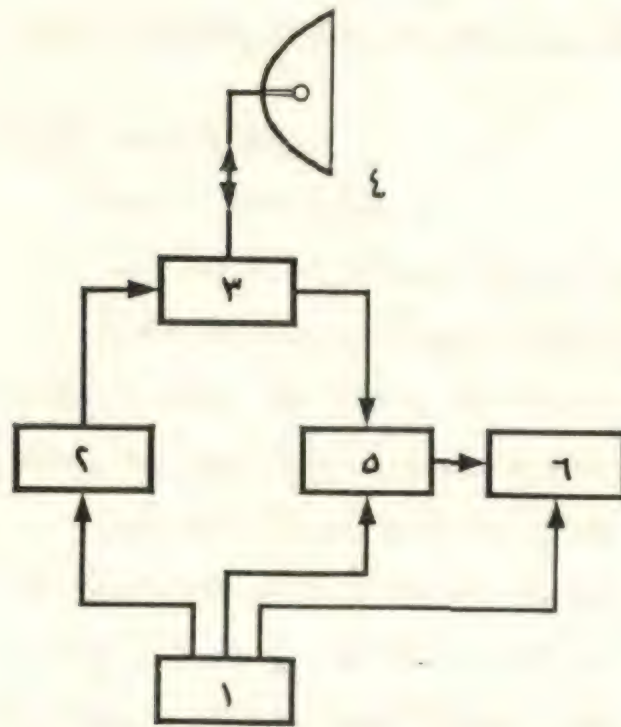
- ( ١ ) إن عودة صدى الموجات المنعكسة يتم فى مدة وجيزة نسبياً ، ( حتى ولو كانت المسافة بين الهدف والمرسل بعيدة ) . ويتطلب قياس هذه المدة القصيرة استخدام أجهزة إلكترونية خاصة وذات دقة عالية .



(ب) إن الطاقة الناتجة من اصطدام الموجات المرتدة بهوائى أجهزة الاستقبال منخفضة للغاية ، ويتطلب ذلك استخدام أجهزة استقبال بالغة الحساسية : مع استخدام مضخمات ذات كفاءة عالية .

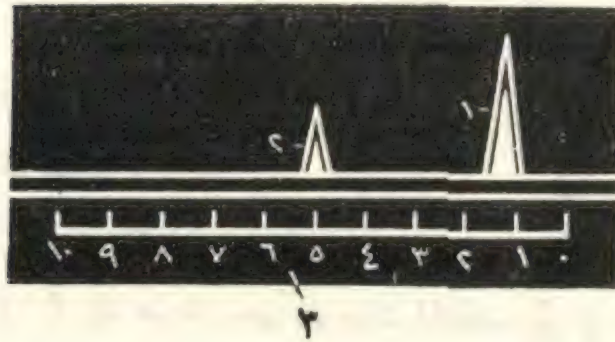
#### التصميم الأساسى لمعدات الرادار :

يبين شكل (٢٤٩) رسماً تخطيطياً لمراحل الإرسال والاستقبال المستخدمة فى معدات الرادار . وأولى هذه المراحل توليد النبضات بواسطة مولد يقوم بإرسالها إلى جهاز الإرسال القوى . وتقوم بلورات بالتحكم فى تردد هذه النبضات وتنظيم فترات استمرارها . وتستخدم هذه البلورات أيضاً فى تحديد الأزمنة التى تفصل النبضات عن بعضهما البعض . ويتم إشعاع هذه النبضات فى الفضاء عن طريق هوائى جهاز الإرسال .



الشكل (٢٤٩) رسم تخطيطى لجهاز رادار

- ١ - مولد النبضات
- ٢ - جهاز الإرسال .
- ٣ - مفتاح مغير لاستعمال الهوائى مرة فى الإرسال ومرة أخرى فى الاستقبال
- ٤ - هوائى .
- ٥ - جهاز استقبال .
- ٦ - جهاز أوسيلو جراف بشعاع كاثودى



الشكل (٢٥٠) مبین بعد اهدف باستخدام جهاز

أوسيلو جراف

- ١ - النبضات المرسله
- ٢ - صدى النبضة المرسله ( النبضة المرتدة )
- ٣ - مبین بعد اهدف عن جهاز الإرسال .

وبمجرد انطلاق حزمة النبضات الأولى يجب أن ينقطع الإرسال ، كما يجب أن ينقطع الإتصال بين الهوائى والمرسل طوال الفترة التى تفصل بين النبضات وبعضها البعض ، ويبقى المرسل



خاملا حتى يتمكن جهاز الكشف ( جهاز الاستقبال ) من التناط الإشارة المرتدة من الهدف .  
ويجب أن يكون زمن هذه الفترة كافيا ليتمكن رؤية صورة الهدف على شاشة صمام الأشعة  
الكاثودية ( الأوسيلو جراف ) ، والتقاط صورة فوتوغرافية للهدف إذا لزم الأمر .

ويبين شكل ( ٢٥٠ ) صورة النبضات التي استقبلت بواسطة الجهاز بعد رسمها على شاشة  
الأوسيلوجراف . ويلاحظ هنا أن توجيه هوائى أجهزة الرادار له تأثير هام فى عملية الإرسال  
والاستقبال . ولهذا السبب تستخدم الهوائيات على شكل قطع ناقص فى معظم الحالات . وبفضل  
هذا التصميم أصبح لتلك الهوائيات قدرة على التركيز المؤثر للموجات الكهرمغناطيسية القصيرة  
جدا والتقاطها وإرسالها .

### استعمال معدات الرادار :

١ - يستخدم الرادار بجانب الأغراض الحربية فى عدة أغراض مدنية هامة منها مسح الأرضى  
بواسطة المستقبلات البانورامية .

تعتبر هذه الأجهزة تحسينا للمعدات السابق وصفها . وهذه المعدات تستخدم فى عمليات  
مسح الأرض ، وتحديد المواقع من الطائرات وخاصة فى حالة تعذر الرؤية . ويمكن لهذه  
الأجهزة تصوير الأماكن المراد مسحها ، ومشاهدة صورها على شاشة صمام الأشعة الكاثودية  
( الأوسيلو جراف ) ، والتقاط صورة فوتوغرافية لها إذا لزم الأمر .

وتستخدم فى معدات الرادار الحديثة هوائيات ، تدور حول محور رأسى . ودوران هذه  
الهوائيات يتم فى تزامن مع دوران ملفات توجيه الشعاع الكاثودى الموجود حول عنق شاشة  
صمامات الصورة . ويمكن مشاهدة تفاصيل الصورة المرتدة على شاشة أجهزة الاستقبال بواسطة  
صدى نبضات الموجات المرسله بعد التقاطها ، ولوضوح تفاصيل الصورة يفضل تزويد شاشة  
أجهزة الاستقبال بمواد فلورسنتية ذات خواص معينة . تتميز بقدرتها على إبقاء الصورة لمدة  
كافية وبوضوح تام حتى يمكن أخذ صورة لها .

### ٢ - تنظيم حركة المرور الجوية :

بالإضافة إلى استخدام الرادار فى الدفاع الجوى ، فإن المستقبلات البانورامية تستخدم أيضا  
فى تنظيم حركة المرور الجوية، حيث يمكن بواسطة هذه المعدات تحديد ارتفاع وبعد الطائرات  
عن أماكن الهبوط . ويتم هذا التحديد بسرعة وبسهولة متناهيتهن . وترسل هذه المعلومات إلى  
الطيار لمساعدته على الهبوط بسلام . وقد تستخدم هذه المعلومات فى بعض الأحيان لتزود بها  
الأجهزة المستخدمة فى هبوط الطائرات تلقائيا ( الهبوط الأعمى ) . وبفضل هذه الأجهزة ،  
أصبح الهبوط فى الضباب عملية ممكنة وسهلة نسبيا .



### ٣ - تنظيم حركة الملاحة البحرية :

تضمن نظام الملاحة البحرية إلى درجة كبيرة باستخدام معدات الرادار البانورامية .  
وأصبح الدخول إلى الموانئ أقل خطورة ، وخاصة في حالة وجود ضباب كثيف أو عند تعذر  
الرؤية أثناء الليل .

### ٤ - أبحاث الفضاء :

يستخدم الرادار في تحديد المسافات بين الأجرام السماوية ، كما يستخدم في متابعة القذائف  
الصاروخية والأقمار الصناعية بدقة متناهية ، ويرجع ذلك إلى أن جهاز الرادار يمكنه أن يستقبل  
صدى النبضات المرسلة بعد اصطدامها بالأهداف البعيدة ، حتى ولو كانت على بعد يزيد على ١٠٠  
مليون كيلومتر من مكان جهاز الاستقبال .

## الباب الخامس

### مصادر تغذية أجهزة الإرسال والاستقبال بالتيار المستمر

(٣٢) تصنيف مصادر تغذية أجهزة الإرسال والاستقبال :

تحتاج المضخمات وأجهزة الاستقبال والإرسال والمعدات المستخدمة في هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية إلى تيار مستمر . وتستخدم لهذا الغرض عدة أنواع من مصادر الطاقة الكهربائية ، التي تمد هذه المعدات بالتيار المستمر المناسب . وقد سبق شرح هذه المصادر ، وأهمها .

( أ ) مصادر الطاقة الكهربائية ، مثل الخلايا الابتدائية والثانوية ، التي تقوم عادة بتغذية أجهزة الإرسال والاستقبال الصغيرة الحجم ذات القدرات الضعيفة ، والتي يطلق عليها أحيانا اسم المستقبلات الجيئية أو المستقبلات السهلة الحمل .

( ب ) مجموعة المحرك - مولد التي يستخدم فيها عادة محرك ثلاثي الأطوار لإدارة مولد تيار مستمر . وتصمم مثل هذه المجموعات لتغذية معدات هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية الكبيرة الحجم ذات القدرات العالية .

( ج ) التيار المستمر الناتج من عمليات التقويم ( التوحيد ) للتيار المتردد . ويستخدم مثل هذا التيار في الأجهزة الثابتة والأجهزة المتوسطة الحجم .

(٣٣) المشاكل المتعلقة بالتيار المستمر الناتج من تقويم التيار المتردد :

عند تصميم جهاز من أجهزة الاستقبال أو الإرسال ، يفضل دائماً تحديد مصدر التيار المستمر الذي يستخدم فيه ، ويتم ذلك بالإجابة على السؤالين الآتيين :

١ - هل استخدام مصدر الطاقة الكهربائية في هذا الجهاز اقتصادي أم لا ؟ ولرد على هذا السؤال نقول : إنه من المعروف أن مصادر الطاقة الكهربائية تستخدم بصفة رئيسية في تغذية الأجهزة الصغيرة الحجم ذات القدرات الضعيفة .

٢ - ما هي مواصفات التيار المستمر الذي يمكن الحصول عليه من مجموعة المحرك - مولد ومن عمليات التقويم ، وذلك إذا قورنت بمواصفات التيار المستمر الذي نحصل عليه من مصادر الطاقة الكهربائية ؟ .



من المعروف أيضا أن التيار المستمر الذى نحصل عليه من مجموعة المحرك - مولد ، أو من عملية تقويم التيار المتردد ، عبارة عن تيار نابض متغير الشدة ، به تموجات شديدة . ولذلك لا يصح استخدام هذا التيار المستمر على حالته، وخاصة فى الأجهزة التى تستدعى ثبوت التيار وخلوه من التموجات ، كأجهزة الراديو والتليفزيون ، أو أى نوع من أنواع الأجهزة التى تستخدم فيها المضخمات . ويرجع ذلك إلى أن هذه التموجات تؤدى إلى وجود تداخل على هيئة أصوات همهمة أو صفير فى سماعات الأذن أو فى المكبر . ويجب ملاحظة أن هذه الأصوات تكبر وتضخم بواسطة الصمامات الإلكترونية أو الترانزستور .

ولذلك تستخدم المرشحات المناسبة التى توصل ( على التوالى أو على التوازى ) مع المقومات ( الموحدات ) أو المولدات ، بحيث نحصل على تيار مستمر ناعم أملس خال من النبضات أو التموجات ، أى نحصل على تيار مستمر يشبه إلى حد كبير التيار الناتج من المصادر الكهر كيميائية . وبذلك نمنع الشوشرة أو التداخل الذى يؤدى إلى التأثير على سلامة السمع كلما ازدادت شدة تموجات التيار المستمر .

#### ( ٣٤ ) مرشح الموجات :

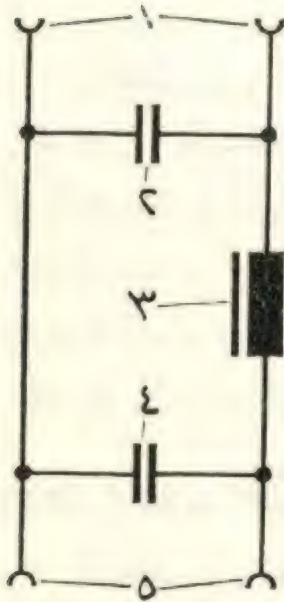
يوضح شكل ( ٢٥١ ) رسما تخطيطيا لدائرة مرشح الموجات المستخدم لتنعيم التيار المستمر النابض حتى يمكن استعماله فى تغذية أجهزة الراديو أو المعدات المستخدمة فى هندسة الاتصالات السلكية واللاسلكية .

وتتكون دائرة المرشح عادة من ملف خائق ومكثف للتنعيم .

ولشرح كيفية عمل المرشح ، فإننا سنأخذ حالة تيار مستمر نابض نصف موجى مطلوب تنعيمه بواسطة المرشح المبين بالشكل ( ٢٥١ ) . وفيه يشحن المكثف ( ٢ ) خلال النصف الأول للموجة وتخزن الشحنة طوال فترة ارتفاع ( نمو ) جهد المنبع حتى يصل إلى نهايته القصوى . ويجب أن نلاحظ أن عملية شحن المكثف تتم بالتدريج ، نظرا لتزايد المجال الكهربائى المتكون بالمكثف ، مما يؤدى إلى تأخير معدل الزيادة الكبيرة فى ارتفاع الجهد . وعندما يصل جهد المنبع إلى نهايته القصوى ويبدأ فى الانخفاض ، يبدأ المكثف فى تفريغ جزء من طاقته المخزونة . ولا يتم التفريغ بطريقة فجائية نظرا لوجود الملف الخائق فى طريق تيار التفريغ ، حيث أن هذا الملف يتميز بممانعة كبيرة تؤدى إلى تأخير معدل التفريغ ، ويؤدى هذا التأخير إلى تقليل معدل إنخفاض جهد المنبع . وبهذه الطريقة يقل معدل الزيادة والانخفاض فى جهد المنبع . ويتضح من الشكل ( ٢٥٢ ) أن الجهد الناتج بعد عملية الترشيح لا تصل قيمته القصوى إلى نفس القيمة القصوى لجهد المنبع النابض ، وإنما يقل عنها ، كما أن أقل قيمة له لا تصل إلى الصفر ، أى تتم عملية تسوية للجهد الناتج من الترشيح ، بحيث لا يرتفع ولا ينخفض بشكل ظاهر . وبذلك نحصل على



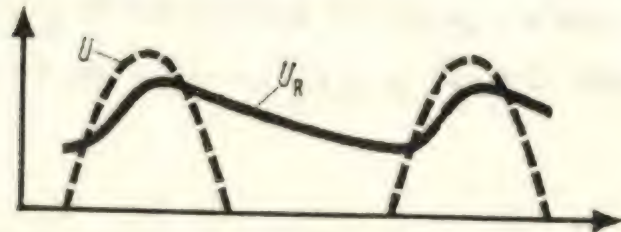
جهد أكثر ثباتاً ونعومة من جهد المنبع . غير أنه يعاب على هذا الجهد الناتج من عملية الترشيح ، وجود تموجات في جزئه العلوى لها ترددات عالية . لذلك يستخدم مع دوائر الترشيح ، دوائر أخرى يطلق عليها دوائر التنعيم ، ويمكن بواسطة هذه الدوائر التخلص من التموجات العالية التردد الموجودة في الجزء العلوى من التيار أو الجهد الناتج من الترشيح . وتتكون دوائر التنعيم من ملف ومكثف لتنعيم ( ٤ ) يوضعان ناحية الخرج من دائرة الترشيح . ويوضح الشكل ( ٢٥١ ) دائرة التنعيم والترشيح معا . ويفيد ملف التنعيم في مقاومة مرور الجزء العلوى من التيار ذى الترددات الكبيرة ، حيث أن ممانعته تزيد بزيادة التردد ، كما أن مكثف التنعيم يؤدي هو الآخر إلى تقليل معدل ارتفاع وانخفاض التموجات ، وبذلك نحصل في النهاية على تيار مستمر خال من التموجات بقدر الإمكان ، ويشبه إلى حد كبير التيار المستمر الذى نحصل عليه من مصادر الطاقة الكهر كيميائية .



الشكل ( ٢٥١ ) مرشح الموجة

- ١ - من المقوم
- ٢ - مكثف الشحن
- ٣ - ملف خائق
- ٤ - مكثف التنعيم
- ٥ - إلى أجهزة الاستقبال

الشكل ( ٢٥٢ ) يبين الخط المتواصل الجهد الناتج بعد الترشيح ، بينما يبين الخط المتقطع الجهد النابض قبل الترشيح





## الباب السادس

### طرق الاتصال السلكية واللاسلكية

ترسل المعلومات أو الإشارات الكهربائية إما بالطرق السلكية أو الطرق اللاسلكية .

أولا : طرق الاتصال السلكية :

وفيها تنقل المعلومات والإشارات من المرسل إلى المستقبل باستخدام الكبلات الأرضية أو الخطوط العلوية ، أى بواسطة الأسلاك .

ويختلف نوع هذه الأسلاك وتصميمها باختلاف المعلومات المرسلة والمسافة بين المرسل والمستقبل . فتستخدم الخطوط العلوية المركبة على أعمدة في نقل المعلومات والإشارات التليفونية أو التلغرافية في الأماكن الخلوية وفي القرى ولوصل البلدان بعضها ببعض . ويحل محل الخطوط العلوية كبلات أرضية في المدن لسهولة التوصيل وقلة نفقات الإنشاء . وقد تستخدم في هندسة التليفونات دائرة مكونة من سلك واحد فقط مع استخدام الأرض كسلك رجوع . وهذا الاستخدام منتشر في الأغراض الحربية .

(٣٥) الكبلات المحلية وكبلات الترنك :

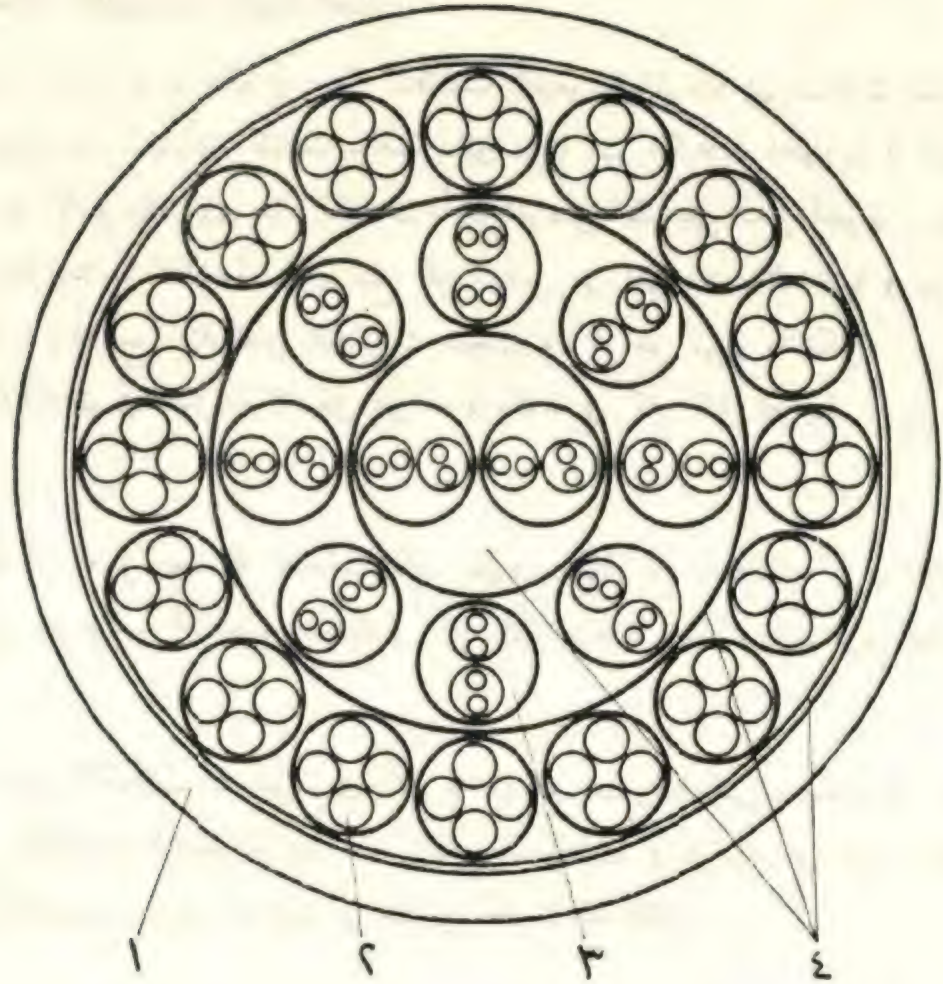
الكبلات التي تصل البلدان ببعضها البعض داخل المدن تسمى الكبلات المحلية ، أما تلك المستخدمة لتوصيل المكالمات التليفونية بين المدن أو بين الدول فتسمى كبلات الترنك .

ويتميز تصميم التليفونات الأتوماتيكية الحديثة بما يعرف بالتبادل التليفوني ذي الكفاءة العالية . ولهذا السبب تتألف الكبلات الأرضية المستخدمة في توصيل التليفونات بعضها مع بعض داخل المدن من أعداد كبيرة من أزواج الأسلاك المستخدمة لهذا الغرض . وتحتوى مثل هذه الكبلات ، في بعض الأحيان ، على ما لا يقل عن ١٠٠٠ زوج من الموصلات الخاصة بحوالى ٢٠٠٠ تليفون .

أما كبلات الترنك ، أى الكبلات المستخدمة في توصيل التليفونات بين بلد وآخر ، فيصل عدد أزواج الأسلاك التي تحتوى عليها إلى ١٧٠ زوج من الموصلات .

ويوضح شكل (٢٥٣) قطاعا في أحد كبلات الترنك .





الشكل (٢٥٣) قطاع لكبل محوري للترنك

- ١ - غلاف من الرصاص
- ٢ - كبل رباعي ( به أربعة موصلات )
- ٣ - كبل توأم رباعي
- ٤ - ورق عازل

ولزيادة كفاءة التوصيل التليفوني ، تثنى أسلاك التوصيل المستخدمة في التليفونات بطريقة معينة . ويؤثر طول الكبلات ، وطريقة ثني الأسلاك ، في كفاءة المحادثات التليفونية ، وذلك نتيجة لتأثيرها على سعة المكثفات وعلى قيمة الممانعات المستخدمة في الدوائر التليفونية . ولزيادة كفاءة الاتصال التليفوني تستخدم بعض الملفات التي توضع على مسافات معينة من الأسلاك التليفونية ( كل ٢ كيلو متر تقريبا ) ، بهدف زيادة قيمة الحث لمخط التليفوني . كما يفضل تركيب مضخمات من الصمامات الإلكترونية أو الترانزستور على مسافات تتراوح بين ٧٥ ، ١٠٠ متر ( تبعا لطرز الكبل المستخدم ) إذا زاد طول الكبل على حد معين .



## (٣٦) حمل المكالمات التليفونية بالتردد العالى :

تستخدم تيارات ذات تردد عال فى حمل المكالمات التليفونية المرسله إلى مسافات بعيدة . وتستخدم فى نقل مثل هذه التيارات كبلات خاصة يطلق عليها اسم الكبلات المحورية ( المتحدة المحور ) أو الكبلات الأنبوبية . وفى هذه الكبلات يأخذ الموصل الخارجى شكل الطوق . ويحيط الموصل الخارجى بالموصلات الداخلية . ويوضع كل موصل من الموصلات الداخلية فى مركز قرص من البلاستيك ، وتوضع الأقراص البلاستيك متجاورة ، كما هو مبين بالشكل . ويمكن استخدام مثل هذه الكبلات فى حمل ما لا يقل عن ٤٠٠ مكالمة فى كل كبل تقريبا . ويتم ذلك بالطريقة الآتية :

تركب المكالمة أو تحمل بواسطة التيارات ذات التردد العالى ، باستخدام طرق الإدماج أو التشكيل التى سبق شرحها ، أى تحمل المكالمة فى كل كبل بواسطة تيارات ذات تردد عال يتم إدماجها فيها .

ولمنع عملية تداخل المكالمات الموجودة فى كبل واحد مع بعضها البعض يستخدم فى حمل كل نوع من أنواع المكالمات التليفونية تيار ذو تردد عال يختلف فى تردده عن التيار الحامل للمكالمات التليفونية الأخرى ، ويمر كل تيار فى خط من خطوط هذا الكبل .

وللتأكد من عدم وجود شوشرة أو تداخل بين الخطوط ، يفضل أن يكون الفرق بين تردد التيارات المختلفة الحاملة للمكالمات التليفونية ٤ كيلو سيكل فى الثانية على الأقل . فإذا كان تردد التيار الحامل لإحدى المكالمات ١٠ كيلو سيكل مثلا ، فإن تردد التيار الحامل للمكالمة الثانية يكون ١٤ كيلو سيكل ، وهكذا . وهذه الكيفية يمكن استخدام الكبل المحورى لحمل أكثر من ٤٠٠٠ مكالمة مركبة على بعضها البعض .

وفى نهاية الكبل المحورى ، يفصل التيار ذو التردد المسموع عن التيار ذى التردد العالى . وترسل المكالمة بعد ذلك خلال الكبلات المحلية إلى أجهزة التليفون .

## ثانيا : طرق الاتصال اللاسلكية :

وفىها تنقل المعلومات والإشارات من المرسل إلى المستقبل عبر الفضاء باستخدام الموجات الكهرمغناطيسية . وقد سبق أن بينا خواص الموجات الكهرمغناطيسية ذات التردد العالى المستخدمة فى حمل التيارات ذات التردد المسموع ، حتى يمكن إرسالها خلال الفضاء . كما بينا العلاقة بين التردد وطول الموجة فى هذه الموجات اللاسلكية عند الكلام عن مدى الإرسال اللاسلكى . ولمعرفة كيفية انتشار الموجات الكهرمغناطيسية فى الجو يجب أن نتفهم طبيعة الغلاف الجوى .



### (٣٧) الغلاف الجوى :

يتكون الغلاف الجوى من النيتروجين والأكسجين والهيدروجين وبعض الغازات الأخرى .  
وتبلغ كثافة الهواء أقصاها على سطح الأرض ، حيث يقوم الهواء بدور العازل .

والغلاف الأرضى هو الطبقة السفلى من الغلاف الجوى ، ويمتد إلى ارتفاع يتراوح بين ١٠ ، ١٤ كيلو متر . أما فى الطبقات العليا فيبدأ الهواء فى التحلل والتأين . وهذه الطبقات العليا غير متجانسة . ويختلف سمك ودرجة توصيل طبقات الغلاف الجوى ( الغلاف الأيونى ) باختلاف ارتفاعها عن سطح الأرض ، كما تختلف أيضا من وقت لآخر أثناء النهار ، وأثناء الليل ، وعلى مدار السنة .

وتتحكم خصائص الغلاف الجوى ، والمواصف ، وغيرها ، فى انتشار موجات الراديو .

### (٣٨) الموجات المماوية والموجات الأرضية :

سبق أن بينا أن الموجات الكهرمغناطيسية ذات الموجة الطويلة جداً ( بتردد منخفض جداً ) والموجات الطويلة ( بتردد منخفض ) تنتشر موازية لسطح الأرض ، ويطلق عليها اسم الموجات الأرضية . أما الموجات القصيرة والموجات القصيرة جداً فتنتشر بزاوية على سطح الأرض ويطلق عليها اسم الموجات الفضائية ( الموجات المماوية ) . أما الموجات المتوسطة فتنتشر أثناء النهار موازية لسطح الأرض ، أى تصبح موجات أرضية ، وتنتشر أثناء الليل بزاوية على سطح الأرض ( أى تتحول إلى موجات فضائية ) ، انظر الشكل ( ٢٥٤ ) .

وبذلك يمكن تقسيم الموجات الكهرمغناطيسية تبعاً لكيفية الإنتشار إلى :

( أ ) موجات أرضية :

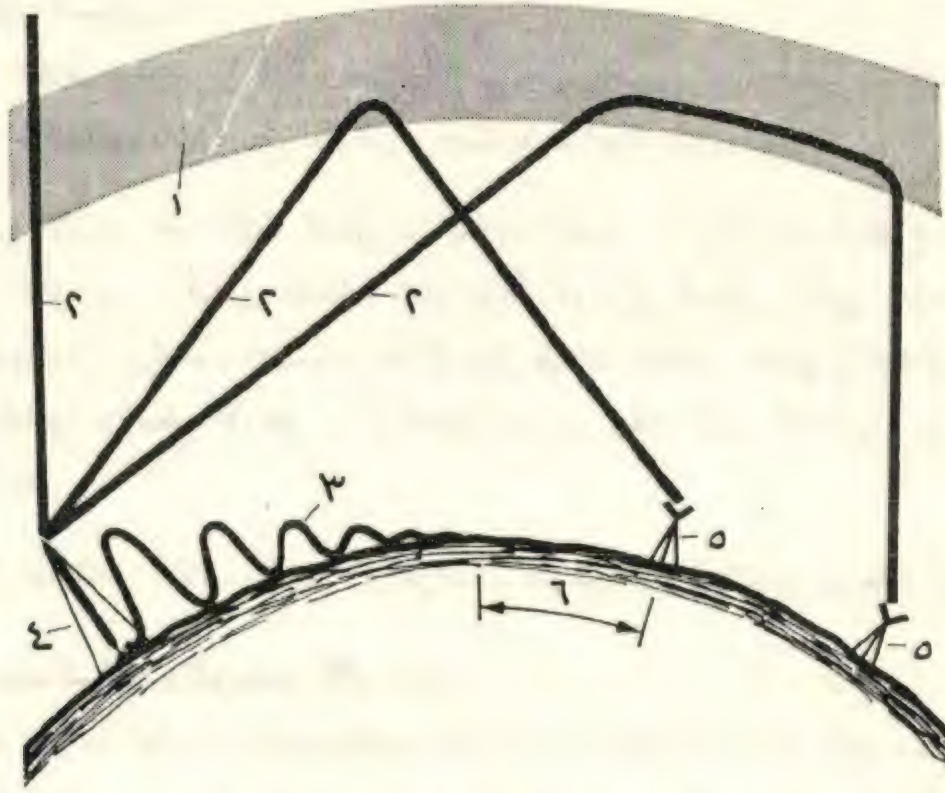
( ب ) موجات فضائية .

### ( أ ) الموجات الأرضية :

وهى الموجات الكهرمغناطيسية التى تنبعث أفقياً وتنتشر موازية لسطح الأرض فى الطبقة السفلى من الغلاف الجوى . ومن أمثلة الموجات التى تسلك فى انتشارها أساساً سلوك الموجات الأرضية الموجات الطويلة جداً ، والموجات الطويلة ( ٣ كم إلى ٣٠ كم ) وبتردد يتراوح بين ( ١٠ ، ٣٠ كيلو سيكل ) ، كما تسلك الموجات المتوسطة ( ٣٠ متر - ٣٠٠ متر ) وبتردد يتراوح بين ( ٣ ، ٠ إلى ٢ ميغا سيكل ) سلوك الموجات الأرضية أثناء النهار فقط .

وتتميز الموجات الأرضية بأنها تنتشر إلى مسافات طويلة جداً إلا أنه يعاب عليها أنها تفقد طاقتها أثناء انتشارها إذا ما اصطدمت بالحواجز أو الموصلات أو المباني الخرسانية العالية .





الشكل (٢٥٤) سلوك الموجات الكهرمغناطيسية المستخدمة في الاتصالات اللاسلكية

- |                          |                    |
|--------------------------|--------------------|
| ١ - الغلاف الأيوني       | ٤ - جهاز الإرسال   |
| ٢ - موجة فضائية (سماوية) | ٥ - جهاز الاستقبال |
| ٣ - موجة أرضية           | ٦ - منطقة الصمت .  |

لذلك تعتبر الموجات الطويلة أكثر الموجات ثباتاً واستقراراً إذا ما انتشرت فوق المحيطات أو الأماكن الخلوية دون أن يعترضها أى عائق ، حيث أن اصطدام هذه الموجات بالأسطح المعدنية والمباني الخرسانية والحديدية يؤدي إلى تولد تيارات دوامية فيها . وهذه التيارات الدوامية تؤدي بالتالى إلى فقد جزء كبير من طاقة هذه الموجات .

#### (ب) الموجات الفضائية

وهي الموجات الكهرمغناطيسية التى تشع بزاوية على سطح الأرض . وقد سبق أن بينا أن طبقات الغلاف الجوى ( الغلاف الأيوني ) الموجودة على ارتفاع يتراوح بين ١٠٠ ، ٥٠٠ كيلومتر هي طبقات متأينة ( متحللة ) تحيط بالكرة الأرضية ويطلق عليها اسم طبقات « هينى سيد - كنيلى » . ويمكن للموجات الفضائية اختراق هذا الغلاف بدرجات تختلف باختلاف ترددها ، ثم تنعكس وتعود ثانية إلى الأرض .



ومن أمثلة الموجات التي تسلك في إنتشارها أساساً سلوك الموجات الفضائية الموجات الديسمترية ، والموجات القصيرة جداً ، والموجات القصيرة ( ٣٠ سم إلى ٣٠ متر ) بتردد يتراوح بين ٣ ميغاسيكل ، ٣٠٠٠ ميغاسيكل . أما الموجات المتوسطة ( ٣٠ متر - ٣٠٠ متر ) وبتردد يتراوح بين ٣,٠ إلى ٣ ميغاسيكل ، فتسلك سلوك الموجات الفضائية أثناء الليل فقط .

ومن الممكن تحديد سلوك الموجات الكهر مغنطيسية المختلفة عند انتشارها تبعاً لتردداتها كالاتي :

الموجات الديسمترية ( ٢٠ سم فأقل ) بتردد يتراوح بين ٣٠٠ ، و ٣٠٠٠ ميغاسيكل . تتميز الموجات الديسمترية بأنها تنفذ خلال طبقات الغلاف الأيوني ولا تنعكس بل تذهب إلى الكواكب . ولذلك نستخدم الموجات التي يتراوح ترددها بين ٢٠ ، ٢٠,٠٠٠ ميغاسيكل في أبحاث الفضاء ولا تصلح للإرسال الأرضي .

الموجات القصيرة جداً والموجات القصيرة ( ٣٠ سم إلى ٣٠ متر ) بتردد يتراوح بين ٣ ميغاسيكل ، ٣٠٠٠ ميغاسيكل :

تسلك هذه الموجات في انتشارها أساساً سلوك الموجات الفضائية ( السماوية ) حيث تخترق طبقات الغلاف بدرجات تختلف باختلاف ترددها، ثم تنعكس ثانية إلى الأرض بحيث يمكن التقاطها عند مناطق معينة من محطة الإرسال .

ونضيف هنا أن لهذه الموجات القصيرة موجات تسلك سلوك الموجات الأرضية ، غير أنها لا تفيد في الإرسال إلا لمسافة قريبة جداً من محطة الإرسال لأنها تمتص بسهولة في الغلاف الأرضي .

ومن هذه الحقيقة السابقة أمكن تفسير وجود المنطقة المسماة « منطقة الصمت » ، وهي المنطقة الواقعة بين نهاية المدى الذي تنتشر فيه الموجات الأرضية لأية موجة ( طويلة أو متوسطة أو قصيرة ) ، وبين بداية المدى الذي تبدأ عنده الموجات الفضائية لنفس الموجة في الانتشار بعد انعكاسها من طبقات الجو العليا .

وهذا يوضح ظاهرة إمكان جهاز استقبال من التقاط محطة إرسال وهو على بعد ٥٠٠ كيلومتر منها ، بينما لا يقدر نفس الجهاز على التقاط نفس المحطة وهو على بعد ٢٠٠ كيلومتر منها .

الموجات المتوسطة ( ٣٠ متر - ٣٠٠ متر ) وبتردد يتراوح بين ٣,٠ ميغاسيكل ( تعتبر الموجات المتوسطة أكثر الموجات استخداماً في الإذاعة . وتتميز بأنها تسلك سلوك الموجات الأرضية نهائياً ، بينما تسلك سلوك الموجات الفضائية ( السماوية ) ليلاً . ولا يتأثر



انتشارها عملياً بمختلف تغيرات الغلاف الأيوني . ولهذه الموجات أيضاً منطقة صمت ، ولكنها أقل من منطقة الصمت الموجودة في الموجات القصيرة . وقد يحدث بعض الخفوت لهذه الموجات أثناء الليل نتيجة لتداخل الموجات الفضائية مع الموجات الأرضية .

الموجات الطويلة ( ٣ كم إلى ٣٠ كم ) وتتردد يتراوح بين ١٠ ، ٣٠ كيلوسيكل :

تسلك هذه الموجات في انتشارها أساساً سلوك الموجات الأرضية حيث أن موجاتها الفضائية ( السماوية ) تمتص بسهولة في الغلاف الجوي . و لا توجد لهذه الموجات منطقة صمت طويلة . وتصلح هذه الموجات في الإرسال فوق البحار والأماكن المكشوفة .

ويمكن القول في النهاية أنه عند اختيار طول الموجة الكهرمغناطيسية ( تردد الموجة ) المناسبة لإرسال أى نوع من المعلومات يجب مراعاة الآتى :

١ - نوع المعلومات المرسل .

٢ - وقت إرسالها ( أثناء النهار أو أثناء الليل أو أى وقت في مدار السنة ) .

٣ - طول المسافة بين جهازى الإرسال والاستقبال .

٤ - طبيعة الأرض أو الفضاء الذى تمر به هذه الموجات .

\* \* \*





transmission	نقل	variable	متغير
transmitter	مرسل	vector	متجه
tubular	أنبوبي	via	عن طريق
tuning oscillation circuit	دائرة موافقة التذبذبات	visible signal	إشارة مرئية
turns	لفات	voltage drop	هبوط الفلطية
two-phase	ثنائي الطور	wave	موجه
type	طراز	wave filter	مرشح موجه
		windings	لفيفات
vacuum	فراغ	wireless	لاسلكي

repulsion motor	محرك تنافري
residual magnetism	مغناطيسية متبقية
resistance	مقاومة
resistor	مقاوم
saturation	تشبع
sawtooth	سن المنشار
scale	تدرج
scanning	مسح
schematic representation	تمثيل تخطيطي
screen grid	شبكة حجب
screening	حجب
secondary current	تيار ثانوى (تيار الملف الثانوى)
sector	قطاع
selection	اختيار
selector switch	مفتاح إنتقاء كهربائى
self-induction	حث ذاتى
selectivity	انتقائية
semi-conductor	شبه موصل
sensitive	حساس
series motor	محرك بلف على التوالى
shaft	عمود إدارة
short circuit	دائرة قصر
short wave	موجة قصيرة
signal	إشارة
single phase	أحادى الطور
sinusoidal	جيبى
socket outlet	مقبس

space waves	موجات فضائية ( موجات سماوية )
specimen	عينة
speed of rotation	سرعة الدوران
stability	اتزان - استقرار
star connection	توصيلة النجمة
stationary	ثابت
stator	عضو ساكن
strip	خوصة
structure	تركيب
superheterodyne reception	استقبال سوبر هترودين
switch gear	مفاتيح التشغيل
synchronization	ترامن
system	نظام
telegraph modulated waves	موجات مشكلة تليفرافياً
temporal	مؤقت
three-phase	ثلاثى الأطوار
thermal	حرارى
thermoplastics	لدائن حرارية
thermosetting plastics	لدائن مصلدة حرارياً
transducer	محول طاقة ( محول معلومات إلى إشارات كهربائية )
transferring	نقل
transformer	محول
transient	عابر ( انتقالى )



magnetism	مغناطيسية	potential difference	فرق الجهد
magnetization	مغطة - تمغط	potentiometer	
magnitude	مقدار		بوتنشيو متر (مقاومة قياس فرق الجهد)
mega - cycle	ميجاسيكل	power factor	عامل القدرة
mesh circuit	دائرة مقفلة	power meter	عداد القدرة
molecule	جزئ	power station	محطة توليد القدرة
modulation	تشكيل ( تضمين )	precision	دقة
		primary circuit	دائرة ابتدائية
negative charge	شحنة سالبة	propagation	امتداد - انتشار - انتقال
network	شبكة	quotient	خارج قسمة
neutral point	نقطة تعادل		
non-conductor	غير موصل	radar	رادار
		radial	نصف قطري
ohmic resistance	مقاومة أومية	radio - receiver	جهاز استقبال راديو
oscillator	مذبذب	range	مدى
		rate	معدل
paramagnetic	بارامغناطيسي	rated voltage	جهد مقنن
peak value	قيمة الذروة	reactance	مفاعلة
period	دورة	reactive	غير فعال
periodicity	دورية	rectifier	مقوم
permanent	دائم	reed	ريشة
permeability	نفاذية	regulating switch	مفتاح منظم كهربائي
phenomena	ظاهرة	relative permeability	نفاذية نسبية
physician	فيزيقي	relay	متابع - مرحل
plastics	لدائن	remanence	استبقائية
polarity	قطبية	rheostat	ريوستات ( مقاومة متغيرة )
polarisation	استقطاب	rotating machine	مكنة دوارة
pole	قطب	rotor	عضو دوار
pole changer	مغير القطب		
portable	نقالى		



generator	مولد	instantaneous	لحظى
geometric	هندسى	insulation loss	فقد العزل
glow lamp	مصباح متوهج	insulating material	مادة عازلة
graduation	تدريج	interference	تداخل
ground waves	موجات أرضية	interlinking	توصيل متبادل
harmonic oscillations	تذبذبات توافقية	image frequency	تردد الصورة
headphone	سماعة رأس	intermediate frequency	تردد بينى
helical spring	زنبرك لولبى	interrelation	علاقة متبادلة
H.F. reciever	مستقبل تردد على	intensity	شدة
H.F. transmitter	مرسل تردد على	key switch	مفتاح كهربائى بذراع
high frequency	تردد على	knob	زر
homogeneous	متجانس		
hysteresis loop	منحنى أنشوطى للمغناطيسية المتبقية	lag	تخلف
impregnated	مشرب بالزيت	lamp holder	دواة مصباح
impulse	نبضة	leakage current	تيار تسرب
incandescent	مصباح متوهج	limits of error	حدود الخطأ
indicating instrument	جهاز مبین	lightening arrester	مانعة صواعق
induced current	تيار منتج بالحث	linear	خطى
inductance	محاثة	lines of flux	خطوط الفيض
inductive	حثى	live part	جزء مكهرب
inductor	محث	local oscillator	مذبذب محلى
influence	تأثير	loop	حلقة
in - parallel	على التوازى	loud speaker	مكبر الصوت
input	دخل	low voltage	جهد منخفض
in series	على التوالى	mains	مأخذ رئيسى
installations	تركيبات	magnet	مغناطيس
		magnetic field strength	شدة المجال المغناطيسى



distortion	تشويه	electrometer	جهاز قياس فرق الجهد الكهربائي
direct current	تيار مستمر	electromotive force	قوة دافعة كهربائية
discharge lamp	مصباح تفريغ	element	عنصر
displacement	إزاحة	elongation	استطالة
distribuion station	محطة توزيع	emission	انبعاث
division	قسم	energy	طاقة
driving energy	طاقة دافعة	equilibrium	اتزان
duration	دوام	equipment	معدات
dynamic effect	تأثير ديناميكي	equivalent	مكافئ
dynamo	دينامو	expansion	تمدد
earthing	تأريض	factor	عامل
earth leakage	تسرب للأرض	feed-back	تغذية مرتجعة ( تغذية مرتدة )
eddy currents	تيارات دوامية	ferromagnetic substance	عنصر عالي الإنفاذية المغنطيسية
efficiency	كفاءة	fidelity	أمانة
electrical circuit	دائرة كهربائية	field	مجال
electrical potential	جهد كهربائي	filament	فتيلة التسخين
electric appliances	مستخدمات كهربائية (أجهزة تعمل بالكهرباء)	filter	مرشح
electric charge	شحنة كهربائية	finger contact	مجم
electric field	مجال كهربائي	flux	فيض
electricity	كهرباء	frequency	تردد
electric meter	عداد كهربائي	frequency modulation	تشكيل التردد
electric power	قدرة كهربائية	function	دالة
electro-chemical	كهروكيميائي	fundamentals	أساسيات
electrode	إلكترود	galvanic cell	خلية جلفانية
electrodynamic	ديناميكي كهربائي ( كهرودينامي )	gap	ثغرة
electrolytic	إلكتروليتي	generation	توليد
electromagnet	مغنطيس كهربائي		



channel	قناة	constant	ثابت
charge	شحنة	contactor	مفتاح تلامس
charging equipment	معدات شحن البطاريات	continuity	استمرارية
charcoal	فحم نباتي	control	تحكم
choke coil	ملف كابح للتيار	converter	محول مغير
characteristics	خصائص مميزة	coresheet	رقائق الصلب
circuit arrangement	ترتيبة دائرة	cosine	جيب تمام الزاوية
circuit breaker	قاطع دائرة	counter	عداد
circuit diagram	رسم دائرة	coupling sleeve	كم قارن
circuit elements	عناصر الدائرة	coupling capacitor	مكثف ترابط
clamp	قامطة - ماسك	crystal structure	تركيب بلوري
classification	تصنيف	current intensity	شدة التيار
clockwise direction	اتجاه عقارب الساعة	cycle	دورة
closed loop	حلقة مغلقة	damping	تخميد ( مضادة )
clutch	قابض	dark radiator	مشع مظلم
coaxial transmission line	خط نقل محوري	decay	اضمحلال
coefficient	معامل	delta connection	توصيلة دلتا
coercive force	قوة قهرية	demodulation	فك التشكيل
coil	ملف	density	كثافة
communications	اتصالات	deposited	مرسب
commutator	مبدل ( عضو التوحيد )	detection	كشف
condenser	مكثف	deviation	انحراف
compound - wound motor	محرك بلف مركب	device	نبيطة ( وسيلة )
conducting plate	لوح موصل	diagramatic	تخطيطي
conductivity	موصلية	diamagnetic	دايامغنتيسي
conductor	موصل	dielectric	وسط عازل
conduit	مجرى	dielectric strength	متانة العزل
		dim light	ضوء خافت
		diode	صمام ثنائي



## المصطلحات الفنية

### ( انجليزى - عربى )

absolute	مطلق	ballast unit	وحدة كبح التيار
accumulators	مراكم	band of frequencies	نطاق الترددات
air gap	ثغرة هوائية	beating	تضارب
alkaline	قلوى	battery	بطارية
alloy	سبيكة	bell transformer	محول جرس
alternating	متردد	blade	نصل
ammeter	أميتر (جهاز قياس شدة التيار)	block diagram	رسم تخطيطى للمراحل
amplifier	مكبر ( مضخم )	boundary layer	طبقة الحدود
angular	زاوى	branch joint	وصلة تفرع
amplitude modulation	التشكيل الكمى ( تشكيل الذروة )	bright radiator	مشع مضى
antenna	هوائى	brush	فرشاة ( فرشاة )
anticlockwise	عكس عقارب الساعة	bundle	حزمة
apparent power	قدرة ظاهرة	bushing	جلبة - وصلة كبل
armature	عضو إنتاج	buzzer	زنان
arrangements	ترتيبات	cable	كبل
atom	ذرة	cable socket	عروة توصيل الكبل
atomic theory	النظرية الذرية	cable trench	مجرى الكبل
attraction	تجاذب	capacitance	مواصلة ( سعة )
asynchronous	لا متزامن	capacitive reactance	مفاعلة سعوية
audio-frequency	تردد سمعى	capacitor	مكثف كهربائى
automatic regulator	منظم اتوماتيكى	casing	غلاف
auto excitation	إثارة تلقائية	cell	خلية
axle	محور	ceramic	خزفي





٧

مطابق الاحكام التجارية



# سلسلة الأسس التكنولوجية

- ١ - الكيمياء الصناعية
- ٢ - أشغال الخشب ( النجارة ) .
- ٣ - الالكترونيات
- ٤ - المخروطية
- ٥ - الأمان الصناعي
- ٦ - براد التجميع
- ٧ - هندسة الموقوسيكالات .
- ٨ - النظائر في البحث والصناعة .
- ٩ - تشكيل المعادن بدون قطع .
- ١٠ - الأساسيات الكهربائية ج ١
- ١١ - الأساسيات الكهربائية ج ٢
- ١٢ - الجداول الفنية ( - )
- ١٣ - الرسم الفني ( - )
- ١٤ - اللحام بالغاز ج ١ ( - )
- ١٥ - اللحام بالغاز ج ٢ ( - )
- ١٦ - اللحام بالغاز ج ٣ ( × )
- ١٧ - أشغال المعادن ( × )
- ١٨ - هندسة الجرافات ( × )
- ١٩ - تكييفات الكهرباء ج ١ ( +× )
- ٢٠ - هندسة السيارات ( +× )
- ٢١ - أشغال قطع المعادن ( +× )
- ( - ) نقد رسيواد طبعه
- ( + ) طبعة ثانية
- ( × ) نحت الطبع و رسيو قباعا